INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBLOUX

Tome XXV, nos 1-2. 1957

BULLETIN

DE

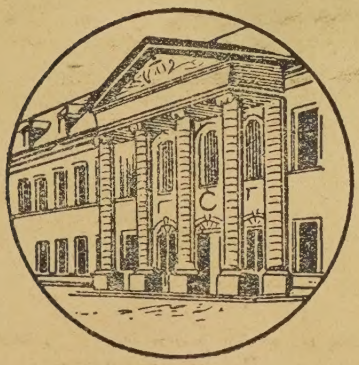
L'INSTITUT AGRONOMIQUE

ET DES

STATIONS DE RECHERCHES

DE

GEMBLOUX



IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
BRUXELLES

COMMONWEALTH MYCOLOGICAL INSTITUTE
1 NOV 1957

Sommaire

In memoriam. — Georges BOUCKAERT † 3

ANTOINE, A. — La réduction des pertes à la conservation des fourrages . 9

BROUWERS, L. — Mesure de l'activité protéolytique et ammonifiante du sol 38

DAGNELIE, P. — Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques . . 44

DERENNE, P. — Signification du test au chlorure de 2, 3, 5-triphényltétrazolium appliqué aux céréales en période de gel intense 95

MOËS, A. — L'action de la cystéamine chez l'orge 98

MOËS, A. — Mutants progressifs chez l'orge 108

MOTTET, A. et QUOILIN, J. — Variation de la longueur des trachéides et de l'épaisseur de leurs parois chez quelques résineux 116

NISEN, A. — Economie de combustible et constructions horticoles . . . 139

ROOSEN, P. — La teneur en eau des tiges de peupliers euraméricains en Belgique 179

Communiqué. — 2me concours pour le prix Professeur Henri Zwaenepoel . . 197

SNEYERS, R. — Variations régionales et influences climatiques dans quelques rendements de la betterave sucrière en Belgique 198

TRZCINSKI, T. et DE MUNTER, P. — Etude de l'influence de la fumure sur la composition chimique et certains caractères physiques des feuilles du pommier 212

DEMORTIER, G. — Observations météorologiques de l'année 1956 . . . 253

Les articles sont publiés sous la seule responsabilité de leurs auteurs.

Le *Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux* paraît normalement quatre fois par an.

Le prix de l'abonnement est de 175 francs par an, somme à verser au compte de chèques postaux n° 7621.08 du Bulletin de l'Institut Agronomique de Gembloux (Belgique) ou à payer par mandat postal.

Prix du présent numéro : 150 francs. Pour la commande, prière de s'adresser au Secrétariat du *Bulletin*.

a) Le Bulletin sera envoyé en échange des publications similaires des Etablissements d'Enseignement Supérieur, des publications périodiques des Sociétés scientifiques et des Revues Scientifiques en général.

b) Tout ouvrage scientifique dont un exemplaire est adressé à la Rédaction, sera signalé sous la rubrique « Livres reçus ».

Toute reproduction des articles parus dans le Bulletin est strictement interdite sans autorisation du Comité de Rédaction.

INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ETAT A GEMBLOUX

Tome XXV, nos 1-2. 1957

BULLETIN

DE

L'INSTITUT AGRONOMIQUE

ET DES

STATIONS DE RECHERCHES

DE

GEMBLOUX

IMPRIMERIE G. I. C.
61, Av. de la Liberté, 61
B R U X E L L E S

GEORGES BOUCKAERT

1880 - 1957

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/biotechnologie-agronomie-societe-et-environnement_1957_25_1-2

In Memoriam — G. BOUCKAERT †

Nous sommes encore empreints d'un deuil récent et notre douleur se ravive en nous inclinant devant M. le Recteur honoraire BOUCKAERT. Il était le chef, le maître, le conseiller et nous ne pouvons nous résoudre à exalter sa mémoire tant sa présence s'allie mal à son souvenir. Il est la lame d'acier qui a fendu les temps sans se ternir et qui échappe brusquement aux yeux qui le regardent.

G. BOUCKAERT est né en 1880. Ingénieur mécanicien et électricien, il est assistant en 1905, professeur agrégé en 1908, professeur extraordinaire en 1913 et professeur ordinaire en 1919. En 1931, il est recteur de l'Institut et assume ces fonctions pendant neuf ans.

Le premier novembre 1945, après 40 ans de service, il est admis à l'éméritat et autorisé à porter le titre honorifique de ses fonctions. A cette occasion, M. le Secrétaire général NYNS écrivait :

« La période de vos trois mandats rectoraux successifs a été marquée par une activité féconde dont l'Institut Agronomique de Gembloux a largement bénéficié. Vous avez collaboré avec autorité à l'étude de la réforme de l'enseignement agronomique belge et c'est sous votre impulsion que les dispositions légales ont été proposées en vue de donner le grade académique aux diplômes délivrés par les Instituts Agronomiques.

Toute votre activité a été guidée par un dévouement inlassable auquel je me plais à rendre hommage ».

Suprême mérite de G. BOUCKAERT que d'agir et toujours édifier.

Jeune professeur à l'Institut, il est dès l'abord absorbé par son enseignement. La diversité des formes des machines d'une même destination et qu'il entreprend de décrire, heurte son esprit précis et méthodique. Il conçoit la standardisation des machines agricoles, définit en accord avec les constructeurs des normes de fabrication et les fait consacrer par l'Institut Belge de Normalisation. Il forge de ses mains l'outil de son travail. Il fonde la Station de Génie Rural qu'il appelle volontiers son laboratoire.

Selon ses propres termes, normaliser une machine n'est rien si sa valeur n'est pas sanctionnée ensuite par une cote.

Il pose sans tarder le principe de l'homologation des machines, suggère la création d'un Comité d'Homologation, le fonde et s'en voit

confier la présidence. De très nombreux rapports constituent à présent les archives de ce comité.

O. S. T. A., un mot qui rappelle dans sa brièveté, l'organisation scientifique du travail en agriculture, est né de l'esprit synthétique de M. le Recteur honoraire BOUCKAERT. Il s'occupe d'organiser scientifiquement le travail des machines agricoles. Il sera le premier président de la jeune organisation.

De nombreuses publications avaient émaillé ses années de travail et M. le Recteur honoraire BOUCKAERT est universellement connu.

Il organise à Liège, en 1935, une conférence internationale de génie rural. Il propose aux chercheurs étrangers de se fédérer, de façon à renforcer leur pouvoir d'information tout en sauvegardant l'intérêt humaniste de cordiaux rapports.

Le comité organisateur de la conférence devient « Commission Internationale de Génie Rural », G. BOUCKAERT en est le premier président.

Il fonde en ces mêmes années le *Bulletin de l'Institut.*

Les pouvoirs publics, soucieux d'honorer ses grands mérites, lui octroient les distinctions les plus flatteuses :

Grand Officier de l'Ordre de la Couronne,
Commandeur de l'Ordre de Léopold,
Commandeur avec Plaque de l'Ordre de la République Espagnole,
Croix de Commandeur du Mérite Agricole de France.

Il y a huit jours, après les souhaits que je lui adressais, il me disait les dispositions à prendre pour assurer le succès du prochain Congrès international de génie rural qu'il désirait organiser dans le cadre de l'Exposition universelle de 1958.

J'étais si loin de penser qu'il allait me falloir tant sacrifier de la modestie de mon illustre Maître.

Il y a des heures, où la vertu ne peut être tue, quand après avoir célébré les œuvres, il semble que l'on n'ait honoré personne. La plus belle récompense du juste est de fournir à ses semblables de vivants récits édifiants. M. le Recteur honoraire BOUCKAERT a droit à cette justice. S'il se trouvait un poète chantant la fermeté avec douceur, celui-là serait fait pour chanter sa vie.

Il dirait de lui qu'il était sévère après s'être mortifié, qu'il était rude après s'être brisé, qu'il demandait après s'être ordonné, qu'il réprimandait après s'être châtié, qu'il était bon et toujours juste. Il aurait parlé du cœur pur d'un enfant, de la joie éclatante d'un adolescent, du front lourd d'un savant. Il aurait cherché chez Michel-Ange

l'image pétrifiée des traits austères et chez Rubens l'éclair colorié de la conscience sévère.

Mais nous n'avons pas ce chant.

Nous avons à nos pieds, dans un mouvement sublime d'humilité, notre Maître honoré, que nous conduisons à sa dernière demeure.

C. DRICOT
9 janvier 1957.

PUBLICATIONS

Nouvelle méthode de récolte des céréales (*Bulletin de la Commission nationale de l'Organisation scientifique du Travail en Agriculture*, **5**, 1932).

Création d'un système de fiches pour l'organisation du travail agricole (*ibid.* **5**, 1932).

Le débardage des betteraves par saison pluvieuse (*ibid.* **1**, 1932).

Le travail à primes dans la culture betteravière (*ibid.*, **1**, 1933).

Perfectionnements et modifications dans les constructions des véhicules agricoles (*ibid.*, **2**, 1933).

Le rôle du moteur dans la récolte des céréales (*ibid.*, **3**, 1933).

Comparaison entre les coussinets lisses et les coussinets à roulements coniques dans les chariots agricoles (en collaboration avec M. C. Dricot, assistant à la Station de Génie Rural) - (*Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux*, **II**, 1, 1933, pp. 74-93).

Constitution d'un centre de renseignements et de documentation sur les méthodes d'essai des machines agricoles (*Conférences internationales des machines agricoles*, **2**, 1933).

Rapport sur la situation de l'Institut Agronomique pendant l'année académique 1931-1932. (Discours prononcé à l'occasion de l'ouverture solennelle des cours le 18 octobre 1932).

Comparaison entre les roues à bandages métalliques et les roues à pneumatiques dans les chariots agricoles (en collaboration avec M. C. Dricot, assistant à la Station de Génie Rural) - (*Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux*, **III**, 2, pp. 154-167).

Le tracteur en Suisse (*Bulletin de la Commission nationale belge de l'Organisation scientifique du Travail en Agriculture*, **III**, 4, 1933, pp. 149-152).

Réparation et entretien des tracteurs (*ibid.*, **IV**, 1, 1934, pp. 15-16).

L'emploi des pneumatiques en agriculture (*ibid.*, **IV**, 2, 1934, pp. 72-74).

Les tendances du XIII^{me} Salon de la machine agricole (*ibid.*, **IV**, 2, 1934, pp. 74-76).

L'organisation du travail et l'enseignement (*ibid.*, **IV**, 3, 1934, pp. 107).

Les lois de la production en agriculture (*ibid.*, **IV**, 4, 1934, pp. 135-138).

La mécanisation de l'agriculture. La moissonneuse-batteuse et la main-d'œuvre. (Rapport présenté au XVI^{me} Congrès international d'agriculture de Budapest, juin 1934).

Rapport sur la situation de l'Institut Agronomique, pendant l'année académique 1932-1933. Discours prononcé à l'occasion de l'ouverture solennelle des cours, le 10 octobre 1933 (*Annales de Gembloux*, **II**, 1933, pp. 373-381).

Le problème de l'organisation du travail en agriculture (*Machinisme agricole et équipement rural*, **I**, 1935, pp. 11-13).

Le taylorisme et l'agriculture (*ibid.*, **3**, 1935, pp. 3-5).

Evolution du véhicule agricole (*ibid.*, **8**, 1935, pp. 5-7).

Le machinisme dans l'organisation du travail agricole. Quelques aspects du problème. Rapports présenté au VI^me^ Congrès international de l'Organisation scientifique du Travail - Londres - 1935.

Vers la mécanisation intégrale de la récolte des betteraves (*Bulletin de la Commission nationale belge de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture*, **IV**, 5, 1934, pp. 185-188).

Rapport sur la situation de l'Institut Agronomique pendant l'année académique 1933-1934. Ouverture solennelle des cours, 8 octobre 1934, Gembloux, Duculot, 1934, pp. 4-8.

Rapport sur la situation de l'Institut Agronomique pendant l'année académique 1934-1935. (Ouverture solennelle des cours, 14 octobre 1935, Gembloux, Duculot, 1935, pp. 5-11).

Fêtes commémoratives du 75^me^ anniversaire de la fondation de l'Institut Agronomique de l'Etat, à Gembloux, 30 juillet 1935 (*Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux*, **IV**, 3, 1935, pp. 201-300[23]).

Le cheval de trait et les épreuves de traction (*Machinisme agricole et équipement rural*, **21, 22**, 1936, pp. 220-224, 245-246).

Rapport sur la situation de l'Institut Agronomique pendant l'année académique 1935-1936. (Ouverture solennelle des cours, 12 octobre 1936, Gembloux, Duculot, 1936, pp. 3-10).

Etude de la puissance spécifique absorbée par une batteuse en fonction du poids de matière introduit. (En collaboration avec M. G. Malcorps, assistant temporaire à la Station de Génie Rural) - (*Bulletin de l'Institut Agronomique et des Stations de Recherches de Gembloux*, **VI**, 1, 1937, pp. 53-63).

Le remplacement des huiles minérales par des carburants d'origine végétale. Rapport présenté au XVII^me^ Congrès international d'agriculture. La Haye, 1937.

Rapport sur la situation de l'Institut Agronomique pendant l'année académique 1936-1937. (Ouverture solennelle des cours, 11 octobre 1937, Gembloux, Duculot, 1937, pp. 3-10).

Les applications d'énergie thermique et motrice de l'électricité aux travaux de la ferme. Rapport présenté aux Journées d'études des applications de l'électricité à la campagne, les 20 et 21 juin 1938, au Palais des Académies à Bruxelles - (Commission nationale pour l'embellissement de la vie rurale, Louvain, Ceuterick, 1938, pp. 119-138).

Rapport sur les démonstrations, au point de vue traction, avec divers véhicules organisées à Wanze, le 22 octobre 1937, par le Comice Agricole de Huy, en collaboration avec la Station de Génie Rural de l'Etat, à Gembloux (*Journal agricole de l'Est de la Belgique*, 1938, **2**).

Essais sur le chauffage électrique des couches de Witloof, en collaboration avec M. C. DRICOT (*Bulletin de l'Institut Agronomique*, **9**, 1940).

Note sur quelques essais effectués avec une décolleteuse et une arracheuse à main pour betteraves (*Bulletin de l'Institut Agronomique*, **10**, 1941).

OUVRAGES

Le travail mécanique du sol par les machines à outils commandés. 1914. Bruxelles, Weisenbruch (55 p.).

Les tracteurs agricoles. T. I et II. Gembloux, 1922. Ed. Duculot.

CHAIRE DE ZOOTECHNIE

La réduction des pertes à la conservation des fourrages

par

A. ANTOINE

C'est depuis plusieurs décades déjà que de nombreux chercheurs se sont attachés à promouvoir l'ensilage comme moyen de conservation des aliments verts destinés au bétail.

En 1935, Piraux et coll. (1) ont publié une enquête approfondie sur l'ensilage des fourrages verts dans le pays.

Poursuivant la même étude en 1936, Piraux et coll. (2) appréciaient les différentes méthodes en usage dans nos exploitations. Ils attiraient l'attention sur le fait que nos agriculteurs n'étaient guère familiarisés avec les techniques d'ensilage qu'ils appliquaient souvent sans soins particuliers. Enfin, ils insistaient déjà sur l'intérêt qu'il y a à recouvrir le silo d'un toit, de façon à limiter les pertes.

La situation n'a évolué que très lentement depuis vingt ans. En 1951, J. Martin et coll. (3), à la suite d'un travail de longue haleine, concluent que la qualité des ensilages peut être encore considérablement améliorée.

D'autre part en 1955, A. De Vuyst et coll. (4) ont montré que l'énorme majorité des silages de la Région Herbagère étaient de qualité nettement insuffisante. Leur étude statistique a prouvé la nécessité du hachage ou du moins d'un tassement parfait. Leur conclusion a été que la méthode d'ensilage à chaud, en meules, doit être abandonnée.

L'abaissement du prix de revient de nos produits animaux est, et va surtout devenir dans les prochaines années, une nécessité de plus en plus impérieuse.

Il semble bien que parmi les rares moyens d'atteindre un pareil but, ce soit la généralisation de l'usage du silo qui doive donner les résultats les plus rapides. La meilleure preuve de cette affirmation

réside dans le fait que ce sont justement les pays où la pratique de l'ensilage est la plus répandue (Hollande, Danemark) qui sont les plus avancés pour ce qui regarde la production laitière.

Le but de cette étude est de montrer que l'ensilage est le meilleur moyen et aussi le plus économique d'assurer la conservation de fourrages de hautes qualités biologiques. Les moyens techniques dont nous disposons actuellement (faucheuses-hacheuses, hacheuses-souffleuses, plastiques) permettent d'obtenir, avec un minimum de soins, une masse fourragère parfaite et à bon compte.

L'herbe est incontestablement la matière première la plus abondante en Belgique ; c'est également celle dont la production est la plus aisée : comme elle constitue la base végétale de l'économie bovine de la plupart de nos régions agricoles, il est normal que le rendement des divers procédés de sa conservation soit sérieusement étudié.

NATURE DES PERTES SUBIES LORS DE LA CONSERVATION DES FOURRAGES

ENSILAGE

L'ensilage de fourrages verts, quel que soit le procédé adopté ou l'agent de conservation utilisé, s'accompagne de pertes en matière sèche (5) (6).

Celles-ci sont dues en partie à la disparition de produits volatils tels que l'anhydride carbonique, l'hydrogène, le méthane et l'ammoniaque provenant, à la fois, de l'action microbienne et de la respiration des plantes. L'action microbienne et la présence d'oxygène sont également responsables de la destruction partielle du carotène.

A. E. Perkins (7) qui a étudié différents procédés de détermination de la matière sèche dans les ensilages a démontré que, par suite de la présence de produits volatils, la dessication à l'étuve donnait des résultats trop faibles en matière sèche et par conséquent conduisait à une surestimation des pertes.

L'écoulement des jus est évidemment une source très importante de pertes. Les jus proviennent en ordre principal de l'eau propre des fourrages ensilés, mais les silos non couverts subissent en outre un lessivage par les eaux de pluie, ce qui peut entraîner des quantités supplémentaires notables de matières solubles.

Enfin, le contact de l'air déclenche le développement des moisissures et la pourriture en surface. Toutes les parties atteintes sont impropres à la consommation. Les pertes par pourriture sont toujours dues à un défaut de technique.

Les pertes totales sont réduites au maximum quand les conditions suivantes sont réunies :

1. Réduction de la respiration des plantes. La respiration cesse quand les cellules n'ont plus d'oxygène à leur disposition.

Il faut éliminer l'air de la masse ensilée par un tassement parfait obtenu soit par le hachage, soit par le vide comme c'est le cas pour le nouveau système Buelens. Le résultat peut encore être atteint en remplaçant l'air par un gaz inerte.

2. Diminution de l'action microbienne. L'activité des micro-organismes est pratiquement bloquée quand le pH se rapproche de 4. Plus ce pH de blocage est rapidement atteint, moins les pertes dues à l'action microbienne sont élevées. Le procédé le plus radical consiste à ajouter un acide fort au moment de l'ensilage. La fermentation lactique, quand elle trouve de bonnes conditions (addition de substances facilement attaquables, hachage de l'herbe, préfanage), libère, à partir des glucides, assez d'acide lactique que pour bloquer toute action microbienne ultérieure, pour autant que tout contact avec l'air soit évité.

Les antiseptiques devraient, en principe, pouvoir donner de bons résultats. Leur emploi se heurte à deux grosses difficultés : ils ne doivent pas être toxiques pour le bétail et leur prix de revient ne doit pas les rendre prohibitifs.

3. Suppression de l'écoulement de jus et du lessivage par les eaux de pluie. Un léger préfanage des fourrages à ensiler, amenant la teneur en matière sèche vers 30 %, supprime tout écoulement de jus, et, par conséquent, toute perte par le drain. Les pertes par écoulement sont d'autant plus élevées que le fourrage ensilé est riche en eau.

Le préfanage ne doit cependant pas se faire de façon intempestive : il n'a de raison d'être que par beau temps et ne doit pas durer plus de 24 heures, sinon les pertes par fermentation et respiration sur le champ peuvent arriver à compenser le bénéfice de la suppression des jus.

Dans un climat comme le nôtre où les silos peuvent recevoir jusqu'à 70 cm d'eau dont une grande partie traverse la masse ensilée pour s'écouler par le drain, il est bien certain que les pertes par lessivage sont très importantes. Elles peuvent être évitées par un toit ou une couverture hermétique en plastique.

4. Les pertes par pourriture en surface sont absolument nulles quand on empêche le contact entre la masse ensilée et l'air. Le silage doit être couvert de façon hermétique et les parois du silo doivent être parfaitement étanches.

FANAGE

Les pertes au fanage sont directement dépendantes du temps. Elles peuvent être relativement réduites quand les opérations se déroulent à un rythme rapide, avec un minimum de manipulations et que la teneur

en eau du foin, au moment de l'engrangement, est très faible. Par contre, en période pluvieuse, les pertes en valeur fourragère peuvent être très importantes et atteindre jusqu'à 60 % de la valeur initiale.

Comme pour l'ensilage, on trouve des pertes par respiration et action microbienne. Celles dues à la respiration sont d'autant plus importantes que le début de la dessication est lent. L'activité des microbes s'atténue rapidement au fur et à mesure que la teneur en eau diminue, mais elle est très intense dans les fourrages humides maintenus tassés en endains ou en petits tas. Cette action microbienne se poursuit même dans les foins engrangés ; ce qu'on peut appeler la fermentation secondaire peut causer des pertes importantes en valeur alimentaire si le degré de siccité du foin est insuffisant. Quand la teneur en eau est inférieure à 15 %, les pertes par fermentation en grange sont faibles.

Celles provoquées par le lessivage peuvent être très lourdes : elles le sont d'autant plus que la pluie tombe sur du fourrage ayant subi une action microbienne intense. Les fourrages presque fanés sont ceux qui subissent les modifications les plus profondes du fait de la pluie.

Il faut enfin envisager des pertes dites mécaniques. Elles sont causées par les manipulations qui cassent des feuilles et des tiges. Leur importance est proportionnelle au nombre des manipulations et au degré de siccité du fourrage.

Pour réduire l'ensemble de ces pertes à un degré acceptable, il faut :

1. Eviter le tassement sur le sol, ce qui favorise les fermentations ;
2. Retourner le foin avant que la face exposée au soleil ne devienne trop sèche, cassante ;
3. Utiliser des machines à travail souple ;
4. Eviter les manipulations répétées quand la dessication est avancée ;
5. Placer le foin très tôt sur siccateurs et apporter un grand soin au chargement de ceux-ci ;
6. Engranger les foins aussi secs que possible.

Malgré tous les soins que l'on peut apporter à la fenaison, elle n'en reste pas moins un procédé aléatoire, sous la dépendance étroite des conditions atmosphériques. De plus, même dans les circonstances les plus favorables, les pertes en valeur alimentaire sont toujours plus élevées que dans l'ensilage de réussite moyenne.

IMPORTANCE DES PERTES

E. Brouwer (8) à la suite de travaux poursuivis de 1925 à 1928 a constaté :

1° Dans les silos meules, d'herbe fraîche non hachée, couverts seulement d'une couche de terre à la face supérieure, les pertes totales en matière sèche varient toujours entre 15 et 30 pour cent ;

2° Les pertes en matière sèche au fanage sur siccateurs varient de 14 pour cent par très beau temps à 30 pour cent par temps pluvieux. Les pertes par fermentation en grange sont de deux pour cent quand le foin est rentré sec (moins de 18 pour cent d'eau) et de 6 pour cent quand la teneur en eau est de 30 pour cent.

Comme la digestibilité des foins est plus faible que celle des silages, la conclusion est qu'il est de loin préférable d'ensiler quand le temps n'est pas favorable à une fenaison rapide.

S. J. Watson et coll. (9) travaillant sur de l'herbe fraîche, non hachée, tassée dans des silos de type finlandais, drainés et couverts seulement de terre, ont déterminé les pertes dans différents procédés d'ensilage. Le tableau I résume leurs résultats, les pertes sont exprimées en pour cent de la matière initiale.

TABLEAU I

	Sans addition	Mélasse 1 à 2 %	A.I.V.	Sérum de lait	Acides autres que l'A.I.V.
Matière sèche . . .	18,2	16,1	17,7	17,7	18
Valeur fourrag. . .	25,9	19,5	21,7	17,6	24,3

L. A. Allen et coll. (10), dans des petits silos expérimentaux, ont ajouté, à de l'herbe fraîche non hachée, différents produits fermentescibles et divers types de cultures microbiennes. L'addition d'hydrates de carbone solubles s'est montrée favorable ; par contre, l'addition de ferments lactiques n'a que très peu d'influence sur l'importance des pertes en matière sèche, protéines brutes et valeur fourragère.

Camburn et coll. (11) ont étudié les pertes enregistrées en recourant à quatre méthodes de conservation : 1° Fanage naturel ; 2° Dessication artificielle ; 3° Ensilage sans addition ; 4° Ensilage à la mélasse.

Les ensilages ont été faits dans des silos-tours, l'herbe a été hachée.

Les pertes, en pour cent des quantités initiales, signalées dans le tableau II ne comprennent pas les quantités de silage éliminées par suite de détérioration en surface.

Ces chiffres montrent que la mélasse n'est pas perdue, une partie seulement est transformée en acide désirable.

TABLEAU II

	1	2	3	4
Matière sèche . . .	15,8	5	9,3	8,2
Cendres	21,5	9,9	1,1	6,8
Protéines brutes . .	22,8	16,7	5,8	8,0
Extractifs non azotés .	13,8	3	17,9	13,9

Davies et coll. (12) ont comparé en silo-tours et avec de l'herbe hachée : l'ensilage sans addition, le procédé A.I.V. et l'ensilage à la mélasse.

Les pertes totales, en pour cent de la matière initiale, sont reprises dans le tableau III.

TABLEAU III

	Sans addition	A.I.V.	Mélasse
Matière sèche . . .	24,1	18,1	12,5
Protéines brutes . .	28,2	11,4	8,2

De Ruytbr et coll. ont publié une série de travaux en 1934, 1937 et 1938. Toutes leurs recherches ont été conduites sur des silos ronds enterrés et couverts seulement de terre. Ils ont toujours ensilé de l'herbe fraîche, non hachée.

Dans une première publication (13), ces auteurs signalent des pertes en matière sèche de 10 pour cent pour de l'herbe d'arrière saison ensilée suivant la méthode A.I.V.; elles sont de 18 pour cent quand l'ensilage est fait au printemps. Plus de la moitié des pertes provient des jus.

Les pertes en protéines brutes (sans NH_3) sont de 15,6 pour cent pour les silos d'automne et 17,5 pour cent dans ceux de printemps, celles en extractifs non azotés sont respectivement 9,3 et 23,7 pour cent.

Par la suite (14), ils ont expérimenté sur de l'herbe fraîche d'automne, trois méthodes d'ensilage : 1° addition de 1 pour cent de sucre : 2° addition de ½ pour cent de sucre et ½ dose A.I.V. : 3° aucune addition.

Les pertes en pour cent de la matière initiale sont signalées dans le tableau IV.

TABLEAU IV

	1 % de sucre	½ % de sucre + ½ A.I.V.	Sans addition
Matières sèches . . .	13,08	12,16	21,74
Protéines brutes (sans NH_3)	23,94	16,70	47,74
Extractifs non azotés .	13,78	11,94	14,07
Minéraux	4,32	12,52	20,09

Enfin, les mêmes auteurs (15) ont montré que l'addition de sérum de lait diminue les pertes à l'ensilage et que le hachage de l'herbe a une action très favorable dans le même sens.

Dijkstra (16) a prouvé qu'il n'y a aucun avantage à presser mécaniquement l'herbe non hachée dans les silos. Les pertes, dans le cas d'une simple couverture de terre sont du même ordre de grandeur que dans les silos pressés.

Le même auteur (17) a déterminé comparativement les pertes à l'ensilage à la glace carbonique et sans addition. Il conclut que si les pertes en matière sèche sont plus faibles dans l'ensilage à la glace carbonique (22,12 pour cent contre 28,32 pour cent), la méthode ne se justifie pas vu son prix de revient élevé.

Par la suite, Dijkstra (18) a poursuivi ses essais en réduisant la quantité de CO_2 à 1 pour cent. A cette dose, le CO_2, soit solide, soit gazeux, n'a aucune influence sur la qualité du silage ni sur les pertes en matière sèche, protéines brutes et extractifs non azotés.

Etudiant l'influence du drainage des silos, Dijkstra (19) signale que dans le cas d'herbe jeune, ensilée au sucre et non hachée, les pertes sont plus élevées dans les silos drainés que dans les non drainés. Elles sont détaillées dans le tableau V et exprimées en pour cent de la valeur initiale.

TABLEAU V

	Drainé	Non drainé
Matière sèche . . .	21,7	17,4
Protéines brutes . .	26	24,8
Extractifs non azotés	25,9	19,9
Cendres	21,8	15,5

Les silages obtenus avaient la même valeur alimentaire et organoleptique.

Au cours de ces dernières années, DIJKSTRA (20) a expérimenté deux agents de conservation du commerce, le Kofa et l'Albumex. Aucun n'a d'action favorable marquée, ni sur les pertes en principes nutritifs, ni sur la qualité du silage obtenu à partir d'herbe jeune non hachée.

J. B. SHEPHERD (21) et coll. ont ensilé, sans aucune addition, des fourrages hachés préfanés (36 pour cent de matière sèche) et demi fanés (54 pour cent de matière sèche) dans des silos-tours hermétiques au gaz, où ils pouvaient faire le vide et remplacer l'air par un gaz inerte.

Les pertes enregistrées sont rapportées dans le tableau VI.

TABLEAU VI

	Préfané	Demi-fané
Matière sèche . . .	5,62	1,04
Protéines brutes . .	2,48	0,49
Extractifs non azotés	13,97	4,10
Cendres	1,49	+ 0,61
Carotène	52,43	64,38

Les pertes en matière sèche sur le champ ont été de 6 pour cent pour le préfanage et de 13 pour cent pour le demi-fanage ; au total elles ont donc été respectivement de 11,6 et 14,5 pour cent.

Les pertes en silos hermétiques ont été nettement moindres que dans les silos normaux : de plus, il n'y a pas eu de silage pourri en surface à éliminer.

D'autre part, les auteurs concluent qu'il n'est jamais intéressant de dépasser le stade du léger préfanage sur le champ.

Dans son traité « Silage Fermentation », BARNETT (1954) (22) étudie en détail la nature des pertes qu'il classe en évitables et inévitables. Ses données numériques sont très voisines de celles des autres auteurs.

N. D. DIJKSTRA et coll. (23) ont publié en 1955 les résultats de deux années d'essais comparatifs d'ensilage d'herbe préfanée, non hachée et de foins obtenus sur siccateurs à partir des mêmes parcelles, dans différentes conditions climatiques. Sur 8 essais, les pertes en matière sèche durant le préfanage ont varié de 0 à 10 pour cent ; les conditions atmosphériques et le degré de siccité atteint ont une grande influence sur leur importance.

Les pertes totales en matière sèche ont fluctué entre 10,9 et 20,2 pour cent avec une moyenne de 14,4 pour cent, celles en valeur fourragère ont varié de 20,8 à 36,3 pour cent.

La comparaison foin-silage préfané a été faite en 1952 dans des conditions climatiques favorables, en 1953 elle a été faite par temps pluvieux.

Les pertes constatées au cours de ces essais sont signalées en pour cent de la matière initiale dans le tableau VII.

TABLEAU VII

		Protéines brutes digestibles	Valeur fourragère
1952	Silage	16,8	23,8
	Foin	23,8	36
1953	Silage	21,4	32,8
	Foin	37,2	52,8

Les pertes dans l'ensilage d'herbe préfanée sont toujours inférieures d'environ 40 pour cent à celles du foin.

B. Maymone (24) a réalisé 17 essais de fanage conduits à Rome et où par beau temps il a constaté des pertes moyennes de 17,6 pour cent de matière sèche, 24,8 pour cent de la valeur fourragère et 31,6 pour cent des protéines brutes digestibles.

Dans deux essais, la chute de 47 mm de pluie dans le premier cas et de 41 mm dans le second, a causé respectivement la perte de 40,2 et 50 pour cent de la valeur fourragère. De telles pluies doublent donc les pertes normales d'une fenaison bien réussie.

Dans une autre série de quatre expériences, la chute de 25 mm de pluie causa une perte moyenne de 43,2 pour cent de la matière sèche, 47,7 pour cent de la valeur fourragère et 49,6 pour cent des protéines brutes digestibles.

Wiegner (Suisse) (25) a évalué les pertes au fanage en effectuant une comparaison entre l'herbe fraîche d'une part et le foin qui en a été tiré d'autre part ; il a exprimé les pertes en pour cent de la valeur initiale (tableau VIII).

TABLEAU VIII

Nombre d'essais	Traitements et conditions climatiques	Matière sèche	Valeur fourrag.	Prot. brut digest.
1	Pas de pluie, pas de perte mécan.	8,7	16,5	22,6
2	Pas de pluie, perte mécanique	14,7	22,5	38,6
7	Pluies	23,7	34,4	49,7
3	1 à 2 pluies (1 à 20 mm)	18,9	22,9	43,6
4	5 à 6 pluies (1 à 20 mm)	27,1	38,3	54,2
10	Moyenne de tous les essais	20,3	30,4	44,7

Dans le cas de fanage par beau temps, WIEGNER dissocie comme suit les différentes pertes en pour cent de la matière initiale (tableau IX).

TABLEAU IX

Perte	Matière sèche	Matière digestible	Valeur fourragère
Due à la respiration	jusqu'à 10	5 - 15	5 - 15
Mécanique	5 - 10	5 - 10	5 - 10
Par fermentation	5 - 10	5 - 10	5 - 10
Due à la diminution de la digestibilité (vieillissement)			10 - 15
	10 - 30	15 - 35	25 - 50

De cette revue de la littérature, on peut conclure que les pertes à l'ensilage sont toujours nettement inférieures à celles dues au fanage, quelles que soient les conditions atmosphériques. Cela est d'autant plus vrai que l'ensilage se pratique suivant les techniques modernes : hachage de l'herbe, addition d'acides ou de substances hautement fermentescibles, tassement convenable, préfanage rapide et couverture des silos.

LE PROBLEME DE LA CONSERVATION DU CAROTENE

Dans deux publications précédentes (26, 27), nous avons déjà attiré l'attention sur l'importance de l'approvisionnement du bétail en vitamine A ou en carotène qui est le précurseur de cette vitamine dans le règne végétal.

L'ensilage est le meilleur moyen de conserver le carotène de l'herbe. L'apport de grandes quantités de cet élément durant l'hiver est une garantie de bonne santé du cheptel bovin par suite d'une résistance accrue aux infections ; de plus, le lait des vaches qui en reçoivent beaucoup est plus jaune et a une valeur vitaminique A beaucoup plus élevée que celle de laits provenant d'animaux dont la ration en est peu pourvue.

CAMBURN et ses coll. (28) ont déterminé les pertes dans divers systèmes d'ensilage de légumineuses : elles ont été de 43 pour cent à l'acide phosphorique, 48 pour cent sans addition, 53 pour cent avec addition de mélasse.

Dans un autre essai (29) portant encore sur des légumineuses, les mêmes auteurs ont mis en évidence des pertes en carotène de 22 pour cent

pour l'A.I.V., 57 pour cent avec acide phosphorique, 78 pour cent dans l'ensilage à la mélasse.

Woodward et Shepherd (30) ont montré que dans l'herbe ensilée, les pertes en carotène sont faibles. Pour l'ensemble de leurs essais, ces pertes ont varié de 9 à 38 pour cent.

En Belgique, les herbes de prairies pâturées renferment en moyenne 285 mg de carotène par kg de matière sèche. Cette moyenne provient de l'analyse de 117 échantillons, les valeurs déterminées s'échelonnant de 150 à 435 mg par kg. Les herbes à faucher, en période de floraison de graminées, ont une teneur moins élevée qui se situe aux environs de 200 mg par kg de matière sèche avec de légères variations suivant l'époque du fauchage et la composition botanique.

Les foins de prairies, d'après 114 analyses portant sur plusieurs années et sur différents systèmes de fanage, ont une richesse moyenne en carotène de 8,1 mg par kg de matière sèche. Le meilleur échantillon renfermait 25,7 mg par kg de matière sèche et le plus mauvais seulement 1 mg.

Les silages d'herbe, de provenances diverses, ont montré une teneur moyenne de 86 mg de carotène par k de matière sèche, avec un maximum de 134 mg et un minimum de 25 mg par k de matière sèche.

Ces résultats montrent que les silages apportent des quantités de carotène infiniment plus importantes que les foins. Les plus mauvais d'entre eux, provenant de silo-meules établis sans grands soins, ont des valeurs en carotène comparables à celle des meilleurs foins, soit respectivement 25 mg contre 25,7 de matière sèche.

Les silages apportent en moyenne 10 fois plus de carotène que les foins pour une même quantité d'unités fourragères. Certains silages bien faits peuvent même en être cent fois plus riches que des foins fanés dans de mauvaises conditions.

Sans compter que l'ensilage d'herbe est le moyen le plus économique d'obtenir un aliment de haute valeur alimentaire à distribuer à l'étable, le seul fait d'amener des quantités intéressantes de carotène dans les rations d'hiver en justifie l'usage : c'est une garantie de pleine santé pour le bétail.

ESSAI D'ENSILAGE D'HERBE PREFANEE (1954)

L'herbe ensilée provient d'une parcelle de deux hectares, pâturée jusqu'au premier juin elle était absolument rasée avant la réservation en vue de l'ensilage.

Fumure :	Chaux magnésienne	1.500 k/Ha
	Fumier	10 t/Ha
	Scories	500 k/Ha
	Nitrate de Soude	200 k/Ha.

Le silo 1 a été chargé le 6 août, l'herbe était à ce moment déjà très abondante ; les silos 2 et 3 ont été chargés les 18-8 et 19-8, le temps ayant été très humide durant 10 jours à partir du 7 août ; l'herbe avait poussé très fort et commençait à jaunir au pied.

OPERATIONS D'ENSILAGE

L'herbe a été hachée et tassée de la même manière dans les trois silos :

Silo 1 : addition de 1 pour cent de sucre dénaturé et pulvérisation d'un ferment lactique de la Station Laitière de Gembloux au fur et à mesure du hachage. Pour stimuler le ferment, on a introduit pour l'ensemble du silo 5 k de levure hydrolysée répartis dans le liquide pulvérisé ;

Silo 2 : addition de 1 pour cent de sucre et pulvérisation du même ferment sans levure :

Silo 3 : addition de 15 k de sucre et de ferment dans la couche supérieure du silo seulement.

Les trois silos, qui ont été recouverts de terre propre, à raison de 2.500 k environ par silo, sont du type classique : cylindriques, drainés et de 15 m^3 de capacité. Ils ne sont pas sous toit.

Préfanage. L'herbe a été fauchée par très beau temps, la veille de l'ensilage au matin. Les opérations de chargement ont commencé chaque fois dès que la rosée a été disparue sauf pour le silo 3 où le chargement a débuté à 11 heures.

DETERMINATION DES PERTES A L'ENSILAGE, PAR LA TECHNIQUE DU « SAC ENFOUI »

Nous n'envisageons ici que les modifications subies par l'herbe entre le moment où elle entre dans le silo et celui où elle est distribuée sous forme de silage aux animaux. Il serait du plus haut intérêt de déterminer ces modifications à partir de l'herbe fraîchement fauchée, mais il ne nous a pas été possible de le faire pour des raisons techniques.

Quand le silo est à moitié chargé, on homogénéise soigneusement sur une surface propre une trentaine de kg d'herbe hachée, sucrée et pulvérisée, cette herbe est prise au hasard dans le silo. Une partie de cette herbe est placée et tassée soigneusement dans un sac en « plastique » perforé, un trou de 5 mm tous les 20 mm, le reste est expédié directement au laboratoire en vue de l'analyse. Le sac perforé est enfoui dans la masse d'herbe en prenant le maximum de précautions pour éviter les poches d'air.

L'utilisation du sac en « plastique » perforé s'est révélée à l'usage comme un moyen parfait d'obtenir une masse ensilée qui soit le reflet

exact de l'ensemble du silo, nous n'avons jamais constaté d'altération ; le contenu du sac a toujours eu même couleur, odeur et pH que le reste du silage.

Connaissant avec précision (aux erreurs inévitables de l'échantillonnage près) ce qui a été ensilé, il a été facile de calculer les modifications subies au cours de la conservation en silo.

RESULTATS

Malgré le soin mis à couvrir les silos de terre et à maintenir cette terre humide, nous avons constaté que les trois silos présentaient une couche de 12-15 cm de silage altéré impropre à la consommation, soit une perte nette de 500 à 600 kg de silage, ce qui représente 7 à 8 pour cent de la masse totale.

A part cette couche supérieure, les silages étaient parfaits aux points de vue de la couleur et de l'odeur et ils ont été très bien appétés par le bétail.

La matière sèche des silages a été déterminée à l'étuve ordinaire, en apportant une correction basée sur le dosage des acides gras volatils et de l'NH_3 dans le silage frais et le produit séché. La différence entre ces deux résultats a été ajoutée à la matière sèche déterminée à l'étuve.

La valeur fourragère des produits a été calculée en partant de coefficients de digestibilité, établis sur animaux, de produits similaires américains donnés par Morisson (31). Ces coefficients ont été légèrement adaptés pour correspondre à la teneur en cellulose de la matière sèche.

A l'examen des résultats, on constate que la perte en valeur énergétique est nettement plus élevée que celle en matière sèche. C'est normal si l'on considère que les coefficients de digestibilité sont moins élevés pour les silages que pour les herbes. Il est normal également que les coefficients soient plus bas pour les silages puisque les processus fermentaires se font d'abord et surtout aux dépens des parties les plus accessibles, et les plus facilement digérées des principes nutritifs.

Dans les trois silos, on a une augmentation de l'extrait éthéré, accroissement dû à la formation d'acides gras et au passage partiel de ces acides gras dans l'extrait.

On constate également dans les trois silos une légère perte de cellulose, la précision de l'analyse et de l'échantillonnage surtout doit être mise en cause, la même remarque peut s'appliquer au gain constaté en extractifs non azotés dans le silo I.

Dans le cas d'herbe préfanée hachée, il n'y a pas d'avantage manifeste à ajouter du sucre ni à introduire un ferment. Il semble toutefois que l'addition de sucre + ferment lactique + extrait de levure donne des résultats légèrement meilleurs.

TABLEAU X SILO N° 1 - ouvert le 19 mars 1955 - pH : 4,20

	Herbe + sucre			Silage			
Poids	10,550 kg			11,480 kg			
Matière sèche . .	32,12			28,95			
	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité introduite (en g)	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité retrouvée (en g)	
Matière sèche . . .	32,12		3.389	28,95		3.322	1,94 % perte
Protéines brutes . .	4,69	14,60	494,8	3,59	12,40	412,1	16,71 % perte
Cendres totales . . .	5,44	16,95	573,9	5,05	17,45	579,7	1 % gain
Extrait éthéré . . .	0,94	2,92	99,2	0,92	3,18	105,6	6,45 % gain
Cellulose	7,89	24,55	832,4	7,09	24,49	813,9	2,22 % perte
Extractifs non azotés	13,19	41,02	1.391,5	12,30	42,48	1.412	1,55 % gain
Unités fourrag. lait .	0,2477		2.613	0,20		2.296	12,13 % perte

TABLEAU XI SILO N° 2 - ouvert le 4 mars 1955 - pH : 4,39

Poids	Herbe + sucre 10,650 kg			Silage 10,750 kg			
	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité introduite (en g)	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité retrouvée (en g)	
Matière sèche . . .	35,31		3.761	33,27		3.577	4,89 % perte
Protéines brutes . .	5,57	15,78	593,2	4,40	13,24	473	20,26 % perte
Cendres totales . . .	4,32	12,24	460,1	4,00	12,01	430	6,54 % perte
Extrait éthéré . . .	1,04	2,95	110,9	1,09	3,29	117,2	5,68 % gain
Cellulose	9,66	27,35	1.028,6	9,50	28,56	1.021,3	0,49 % perte
Extractifs non azotés	14,72	41,68	1.567,6	14,27	42,90	1.534	2,14 % perte
Unités fourrag. lait .	0,2776		2.956	0,2337		2.512	15,02 % perte

TABLEAU XII SILO N° 3 : ouvert le 21 février 1955 - pH : 4,52

Poids	Herbe 11.550 kg			Silage 11.750 kg			
	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité introduite (en g)	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité retrouvée (en g)	
Matière sèche	38,68		4.467	36,30		4.265	4,52 % perte
Protéines brutes	6,08	15,75	702,2	5,15	14,2	605	13,83 % perte
Cendres totales	3,96	10,23	457	3,73	10,28	438,3	4,09 % perte
Extrait éthéré	1,18	3,04	135,7	1,2	3,31	141	3,91 % gain
Cellulose	11,00	28,44	1.270	10,78	29,71	1.266,7	0,28 % perte
Extractifs non azotés	16,45	42,54	1.900,3	15,43	42,5	1.813	4,59 % perte
Unités fourrag. lait	0,3079		3.556	0,2544		2.989	15,94 % perte

TABLEAU XIII

BILAN MINERAL

	Herbe 1		Silage 1		
	mg par kg de mat. sèche	Quantité introduite	mg par kg de mat. sèche	Quantité retrouvée	
Phosphore	2.793	9.465	2.771	9.205	— 2,16 %
Calcium	9.698	32.866	10.325	34.299	+ 4,32 %
Magnésium	2.403	8.143	2.414	8.019	— 1,52 %
Potassium	19.368	65.638	21.178	70.353	+ 7,18 %
Sodium	3.652	12.376	3.441	11.431	— 7,63 %
Fer	1.805	6.117	1.866	6.198	
Cuivre	8,3	28	17	56	
Manganèse	94,5	320	982	326	
	Herbe 2		Silage 2		
Phosphore	2 655	9.985	2.474	8.849	— 11,37 %
Calcium	10.068	37.866	9.840	35.197	— 7,05 %
Magnésium	2.111	7.939	2 200	7.869	— 0,93 %
Potassium	25.639	96.428	26.475	94.701	— 1,79 %
Sodium	2.410–	9.094	2.598	9.293	+ 2,19 %
Fer	813	3 057	572	2.046	
Cuivre	7,3	27	7,1	25	
Manganèse	70,9	267	51	182	
	Herbe 3		Silage 3		
Phosphore	2.679	11.967	2.845	12.133	+ 1,39 %
Calcium	9.537	42.602	9.635	41.093	— 3,54 %
Magnésium	2.205	9.849	2.235	9.532	— 3,22 %
Potassium	27.420	122.485	27.907	119.023	— 2,83 %
Sodium	1.966	8.782	1.941	8.278	— 5,74 %
Fer	477	2.130	998	4.256	
Cuivre	6,5	29	9,5	40	
Manganèse	62,8	281	73,1	312	

Les pertes en matière sèches et en valeur énergétique sont *très faibles ;* quel que soit le traitement, il n'y a pratiquement pas eu d'écoulement de jus. Les trois sacs ont augmenté de poids c'est-à-dire que le silage a retenu une partie de l'eau d'infiltration.

Il est bien entendu que nous avons déterminé les seules pertes dues au processus de conservation.

Les pertes minérales signalées au tableau XIII sont également très réduites, et du même ordre de grandeur que celles en matière sèche, les cinq éléments principaux se sont comportés de façons très comparables.

ENSILAGE D'HERBE FRAICHE — 1955

A la suite des essais effectués en 1954, nous avons voulu déterminer les pertes à l'ensilage d'une herbe fraîchement fauchée ; en même temps, nous avons essayé de supprimer les pertes par pourriture à la partie supérieure du silo.

Nous sommes arrivés à un excellent résultat par interposition d'une feuille de « plastique » entre l'herbe et la terre de couverture.

Quatre silos ont été remplis d'une herbe provenant d'une même parcelle de deux hectares et demi. Les opérations d'ensilage se sont faites les 26, 27, 28, 29 juillet 1955.

La parcelle avait été pâturée à ras jusqu'au 5 juin, puis réservée en vue de l'ensilage ; la fumure a été très légère :

35 t de purin par Ha
et 150 kg de Nitrate de Na.

OPERATIONS D'ENSILAGE

L'herbe a été hachée et tassée de la même manière dans les quatre silos.

Silo 4 : Addition de 1 pour cent de sucre dénaturé réparti au fur et à mesure du hachage. Les opérations d'ensilage ont commencé assez tard, l'herbe a été légèrement préfanée. Le silo est couvert de 2.500 kg de terre argileuse ;

Silo 5 : Addition de 1 pour cent de sucre dénaturé. Ensilage immédiat après fauchage. L'herbe est couverte d'un cercle de « plastique » ne fermant pas hermétiquement sur les bords ; le « plastique » est alors recouvert de 2.500 kg de terre ;

Silo 6 : Addition de 1 pour cent de sucre dénaturé. Ensilage immédiat après fauchage. L'herbe est couverte d'une feuille de « plastique » disposée de façon à déborder empêchant toute infiltration d'eau. Terre : 2.500 kg ;

Silo 7 : Aucune addition à l'herbe. Ensilage immédiat après fauchage. Couverture hermétique en plastique, comme le précédent. Terre : 2.500 kg.

Comme par le passé, on a enfoui un sac en « plastique » perforé au milieu du silo, ce sac étant bourré d'herbe hachée dont un échantillon aussi parfait que possible a été analysé.

RESULTATS

Le silo 4 couvert simplement de terre présentait comme ceux de l'an dernier une couche altérée de 15 cm à éliminer. Les trois autres silos par contre ne présentaient pas la moindre altération en surface.

Les quatre silages avaient une couleur et une odeur parfaites, le n° 7 paraissant être plus modifié que les autres.

TABLEAU XIV SILO N° 4 - Ouvert le 25 mars 1956 - pH : 4.40

	Herbe + sucre			*Silage*			
Poids . . .	10,850 kg			10,950 kg			
Matière sèche % .	28,54			24,27			
	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité introduite (en g)	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité retrouvée (en g)	
Matière sèche . . .	28,54		3.096,6	24,27		2.657,6	14,17 % perte
Protéines brutes . .	4,28	14,99	464,4	3,31	13,64	362	22 % perte
Cendres	2,91	10,20	315,7	2,28	9,39	249,7	20,91 % perte
Extrait éthéré . . .	0,77	2,70	83,5	0,92	3,79	100,7	17,01 % gain
Cellulose	6,83	23,91	741	6,55	26,99	717,2	3,21 % perte
Extract. non azotés .	13,76	48,2	1.493	11,21	46,19	1.227,5	17,78 % perte
Protéines pures . .	3,61	12,65		2,36	9,72		
Amines - Amides . .	0,67	2,34		0,95	3,92		
NH_3				0,079			
Acide acétique . . .				0,308			
Acide butyrique . .				0,532			
Acide lactique . . .				1,955			
Total acide				2,795			
Carotène mg/kg . .	42	147,3	456	30,2	124,6	331	27,41 % perte
Unités fourrag. lait .	0,2582		2.801,5	0,19		2.080,5	25,74 % perte

Fliec (31) a établi une échelle d'appréciation des silages d'après leur teneur en acides acétique, butyrique et lactique.

D'après Fliec, ce silage aurait la cote septante pour cent et serait classé comme bon.

TABLEAU XV. — SILO N° 5 - Ouvert le 6 mars - pH : 4,30

	Herbe + sucre			*Silage*			
Poids	11,850 kg			10,285 kg			
Matière sèche % .	19,81			18,66			
	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité introduite (en g)	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité retrouvée (en g)	
Matière sèche . . .	19,81		2.347,5	18,66		1.919,2	18,24 % perte
Protéines brutes . .	2,32	11,73	274,9	2,01	10,77	206,7	24,81 % perte
Cendres	3,29	16,59	389,9	3,22	17,26	331,2	15,05 % perte
Extrait éthéré . . .	0,46	2,33	54,5	0,65	3,48	66,9	22,75 % perte
Cellulose	4,65	23,49	551	5,38	28,83	555,3	0,42 % gain
Extract. non azotés .	9,08	45,86	1.076	7,40	39,66	747,7	29,27 % perte
Protéines pures . .	1,96	9,91		1,62	8,67		
Amines - Amides . .	0,36	1,82		0,39	2,10		
NH_3				0,024			
Acide acétique . . .				0,169			
Acide butyrique . .				0			
Acide lactique . . .				0,842			
Total acide				1,012			
Carotène mg kg . .	32,6	164,7	386	14,2	75,8	146	62,17 % perte
Unités fourrag. lait .	0,1655		1.961,2	0,1285		1.321,6	32,61 % perte

Ce silage obtient cent pour cent des points à l'échelle de Flieg et est classé comme très bon.

TABLEAU XVI. — SILO N° 6 - Ouvert le 22 février - pH : 4,05

	Herbe + sucre			*Silage*			
Poids . . .	13,350 kg			12,220 kg			
Matière sèche % .	21,37			22,13			
	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité introduite (en g)	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité retrouvée (en g)	
Matière sèche . . .							
Protéines brutes . .	21,37		2.852,9	22,13		2.704,3	5,21 % perte
Cendres	3,06	14,3	408,5	3,05	13,78	372,7	8,76 % perte
Extrait éthéré . . .	2,72	12,71	363,1	2,59	11,70	316,5	12,63 % perte
Cellulose	0,56	2,63	74,8	0,96	4,34	117,3	56,81 % gain
Extract. non azotés .	5,03	23,56	671,5	5,53	24,99	675,8	0,64 % gain
Protéines pures . .	10,00	46,8	1.335	10,00	45,19	1.222	8,46 % perte
Amines - Amides . .	2,51	11,75		2,04	9,22		
NH_3	0,54	2,55		1,01	4,56		
Acide acétique . . .				0,071			
Acide butyrique . .				0,358			
Acide lactique . . .				0,224			
Total acide				1,977			
Carotène mg/kg . .				2,559			
Unités fourrag. lait .	36,7	171,7	490	33	149,1	403	17,75 % perte
	0,1902		2.539,2	0,175		2.138,5	15,78 % perte

Ce silage obtient quatre-vingts pour cent à l'échelle de Flieg et est classé comme très bon.

TABLEAU XVII. — SILO N° 7 - Ouvert le 7 février - pH : 4,74

	Herbe			*Silage*			
Poids . . .	10.950 kg			10.430 kg			
Matière sèche % .	19,93			19,88			
	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité introduite (en g)	% de la matière verte (par kg)	% de la matière sèche (par kg)	Quantité retrouvée (en g)	
Matière sèche . . .	19,93		2.182,3	19,88		2.073,5	4,99 % perte
Protéines brutes . .	2,73	13,71	299	2,76	13,88	278	4,08 % perte
Cendres	1,93	9,69	211,3	1,91	9,61	199,2	5,73 % perte
Extrait éthéré . . .	0,52	2,59	56,9	0,76	3,82	79,3	39,37 % gain
Cellulose	5,32	26,71	582,5	5,57	28,02	581	0,26 % perte
Extract. non azotés .	9,45	47,4	1.034,8	8,88	44,67	926,2	10,49 % perte
Protéines pures . .	2,33	11,67		1,73	8,70		
Amines - Amides . .	0,41	2,04		1,03	5,18		
NH_3				0.099			
Acide acétique . . .				0,2			
Acide butyrique . .				1,026			
Acide lactique . . .				1,351			
Total acide				2,577			
Carotène mg/kg . .	37,9	190,2	415	43,1	216,9	449	8,17 % gain
Unités fourrag. lait .	0,177		1.938,2	0,154		1.606,2	17,13 % perte

Ce silage obtient cinquante pour cent à l'échelle de Flieg et est classé comme satisfaisant.

TABLEAU XVIII

BILAN MINERAL

	Herbe 1		Silage 1		
	mg par kg de mat. sèche	Quantité introduite	mg par kg de mat. sèche	Quantité retrouvée	
Phosphore	2.451	7.590	2.339	5.893	— 22,36 %
Calcium	12.858	39.816	13.395	33.750	— 15,24 %
Magnésium	2.280	7.060	2.114	5.326	— 24,56 %
Potassium	21.476	66.490	17.614	44.380	— 33,25 %
Sodium	2.761	8.550	2.289	5.767	— 32,55 %
Fer	728	2.254	972	2.449	
Cuivre	11	34	11	27	
Manganèse	38,6	119	50,2	126	
	Herbe 2		Silage 2		
Phosphore	2.348	5.512	2.240	4.269	—'22,55 %
Calcium	10.036	23.560	9.541	18.183	— 22,82 %
Magnésium	2.131	5.003	1.602	3.053	— 38,97 %
Potassium	18.556	43.560	15.584	29.789	— 31,61 %
Sodium	3.540	8.310	1.683	3.207	— 55,39 %
Fer	2.243	5.265	3.344	6.372	
Cuivre	10,2	24	10,8	21	
Manganèse	92,8	218	64,5	122	
	Herbe 3		Silage 3		
Phosphore	2.293	6.542	2.415	6.371	— 2,61 %
Calcium	11.487	32.771	11.880	31.343	— 4,36 %
Magnésium	2.323	6.627	1.995	5.263	- 20.58 %
Potassium	15.224	43.421	15.520	40.946	— 5,70 %
Sodium	3.173	9.052	2.121	5.595	- 38,19 %
Fer	1.366	3.897	1.526	4.026	
Cuivre	11	31	12,4	33	
Manganèse	51,5	147	54,3	143	
	Herbe 4		Silage 4		
Phosphore	2.929	6.392	3.122	6.086	— 4,78 %
Calcium	11.214	24.472	12.751	24.857	+ 1,53 %
Magnésium	2.300	5.019	2.466	4.807	— 4,22 %
Potassium	20.333	44.371	24.008	46.801	+ 5.48 %
Sodium	3.692	8.057	2.480	4.834	— 40,00 %
Fer	692	1.510	926	1.805	
Cuivre	12,4	27	11,8	23	
Manganèse	52,3	114	65,3	127	

Dans le silo 4, on a dû éliminer 600 kg de silage de surface comme impropre à la consommation. L'interposition d'une feuille de « plastique » mince a supprimé entièrement cette perte dans les trois autres silos.

La couverture du silo 5, non hermétique est insuffisante pour réduire les pertes dues au lessivage par les eaux de pluies. Par contre, il semble qu'elle doive bien convenir à des silos sous toit. Une telle feuille coûte 63 F soit 9 m^2 à 7 F pour une épaisseur de 0,07 mm. Le prix de revient du kilo de silage se situant aux environs de 0,40 F, l'opération est économiquement intéressante d'autant plus que l'épaisseur de terre de couverture peut être sensiblement réduite.

Les pertes en matières sèches, protéines et unités fourragères pour l'ensemble du silo, compte non tenu de la couche supérieure sont moins élevées dans le silo 4 que dans le silo 5, cela provient du fait que l'herbe 4 a été légèrement préfanée : l'écoulement du jus et le lessivage ont été limités.

La couverture imperméable des silos 6 et 7 permet de réduire les pertes dans de notables proportions. Elle a été obtenue par une feuille de « plastique » placée entre la terre et l'herbe, mais débordant de tous côtés de façon à empêcher l'infiltration d'eau, le prix en est de 140 F, soit 20 m^2 à 7 F.

Outre le fait qu'il n'y a plus de perte en surface, fait qui à lui seul justifierait la dépense, la comparaison avec les silos 4 et 5 montre que, par silo chargé de 10.000 k d'herbe, on réalise une économie de plus de 300 unités fourragères soit environ une valeur de 700 F en estimant l'unité fourragère à 2,50 F.

L'addition de 1 pour cent de sucre dénaturé n'a qu'une très faible influence favorable en ce qui concerne les pertes : par contre, la qualité organoleptique du silage se trouve améliorée. Le silage 6 avec sucre a un pH de 4,05 contre 4,74 pour le 7 ; la teneur en acide butyrique est beaucoup plus faible 0,358 pour cent contre 1,026 pour cent, de même la dégradation des protéines est moins avancée, 0,071 pour cent NH_3 contre 0,099 pour cent. Malgré ces différences théoriques, le silage 7 a été très bien appété par le bétail, il ne présentait d'ailleurs pas d'odeur désagréable.

La couverture hermétique des silos 6 et 7 a permis de réduire fortement les pertes en matières minérales : celles en sodium restent seules importantes ce qui est vraisemblablement dû au fait que le sodium se présente surtout sous forme de chlorure, hautement soluble alors que le potassium, par exemple, a plutôt tendance à se trouver sous forme organique beaucoup moins soluble.

Le processus de l'ensilage élimine proportionnellement plus de sodium que de potassium et cela surtout dans le cas d'herbe verte. Le

rapport $\frac{K}{Na}$ s'en trouve accru alors qu'il a déjà tendance à être trop élevé dans l'herbe par insuffisance en Na,

Le carotène se conserve mieux dans les silos bien fermés (6 et 7). C'est dans le silo 5 que la perte est la plus sensible : 62 pour cent ; c'est justement dans ce silo que se sont formés le moins d'acides organiques et d'NH_3 ; la perte élevée en carotène est-elle due à cette production très réduite d'acide organiques, à cette fermentation peu poussée ?

Quoi qu'il en soit, les teneurs par kg de silage sont largement suffisantes pour couvrir les besoins des animaux même là où il n'y a plus que 14 mg de carotène par kg. Les trois autres silages renfermant respectivement 30, 33 et 43 mg de carotène par kg, sont parfaits à ce point de vue.

GRAPHIQUES DES RESULTATS DES DEUX ANNEES

TABLEAU XIX

Dans le tableau XIX, chaque colonne T représente 100 de matière initiale. Les n^{os} 1, 2, 3 correspondent aux silages préfanés non couverts de plastique de l'année 1954.

Les n^{os} 4-5 représentent les silagees d'herbe fraîche, de l'année 1955. Le premier n'a pas été couvert de plastique et le second couvert de façon non hermétique.

Les parties hachurées des colonnes 1, 2, 3 et 4 représentent les pertes par pourriture en surface.

Les colonnes 6 et 7 correspondent aux silages d'herbe fraîche couverts hermétiquement en plastique de l'année 1955.

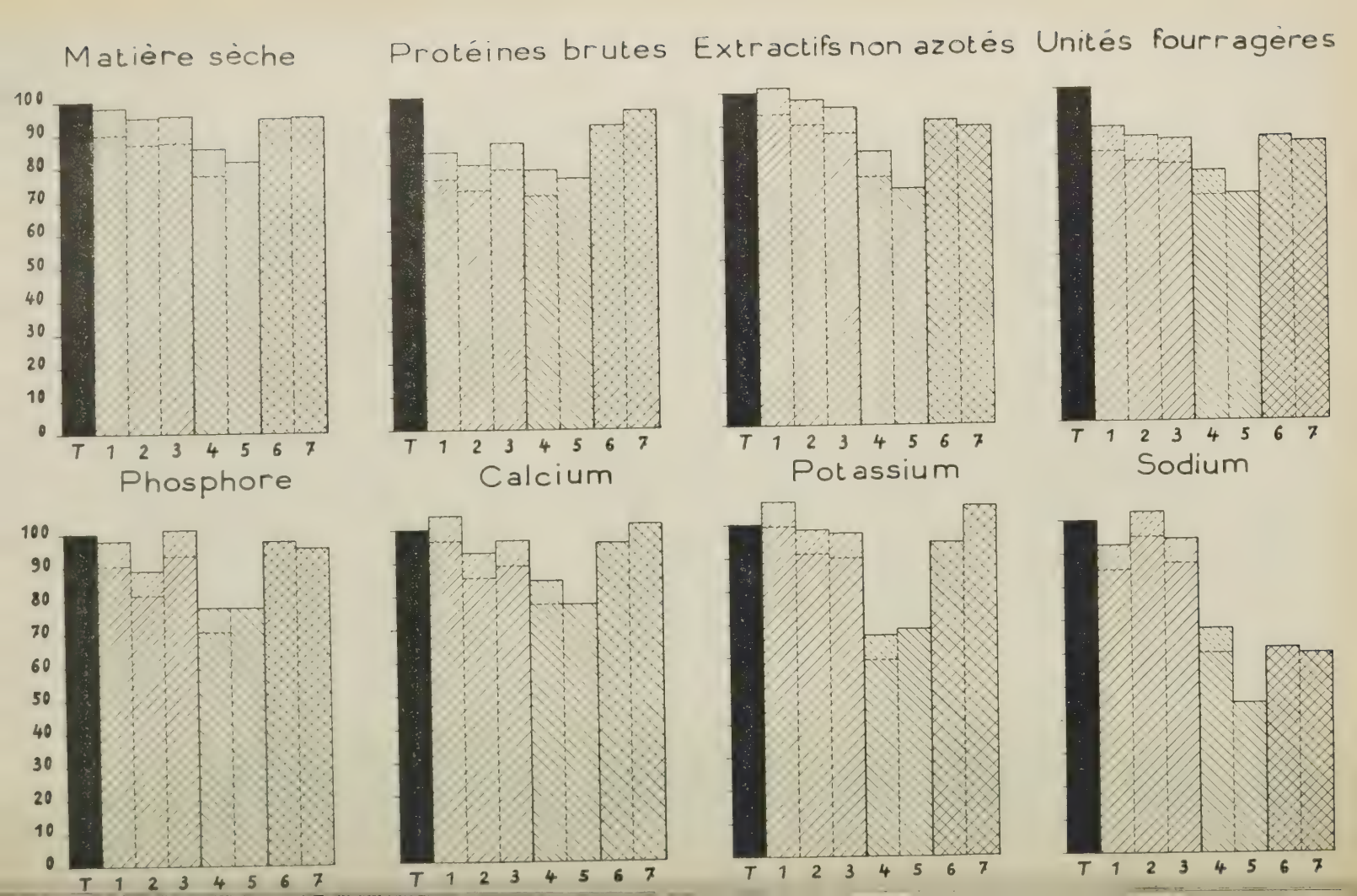
Les silages 3 et 7 proviennent d'herbe ensilée sans aucune addition.

RESUME ET CONCLUSIONS

Dans les silos ronds en béton, du type finlandais ou rhénan, drainés et non couverts d'un toit, les silages provenant d'herbe hachée ont toujours été de très bonne qualité et bien appréciés par le bétail.

Les pertes par pourriture en surface ont été de 7 à 8 pour cent de la masse totale de silage pour les silos 1, 2, 3 et 4 qui étaient simplement recouverts d'une couche de 25 cm de terre. Dans les silos couverts de plastique, ces pertes en surfaces sont absolument nulles.

Compte non tenu des pertes au champ, et par pourriture en surface, les pertes dans le cas d'herbe préfanée 1, 2 et 3 sont très faibles : de 2 à 4,9 pour cent de matière sèche, de 13,8 à 20,3 pour cent de protéines


Matière sèche
Protéines brutes
Extractifs non azotés
Unités fourragères
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
T 1 2 3 4 5 6 7
Phosphore
Calcium
Potassium
Sodium

brutes, de 12,1 à 15 pour cent de la valeur fourragère. Un préfanage rapide de 24 heures par très beau temps n'occasionne d'ailleurs, d'après la littérature, que des pertes très faibles de l'ordre de 2 à 3 pour cent. Quant aux pertes en surface, on peut les éviter par interposition d'une feuille de plastique.

Les pertes dans l'ensilage d'herbe fraîche sont sensiblement plus élevées quand les silos ne sont pas couverts hermétiquement au plastique.

	Silos non couverts (4 et 5)	Silos couverts 5 et 6
Matière sèche	14,2 et 18,2	5,2 et 5
Protéines brutes	22 et 24,8	8,8 et 4,1
Extractifs non azotés . .	17,8 et 29,3	8,5 et 10,5
Unités fourragères . . .	25,7 et 32,6	15,8 et 17,1
Carotène	27,4 et 62,2	17,7 et 8,7

Outre qu'elle élimine toute perte en surface, la couverture hermétique en plastique permet, en supprimant le lessivage par les pluies, de réduire de plus de 50 pour cent les pertes à l'intérieur de la masse. En ce qui concerne le carotène, le bénéfice est encore plus spectaculaire

La comparaison 1, 2, 3 d'une part et 4-5 d'autre part, montre qu'il est intéressant de préfaner l'herbe ; mais il faut que le préfanage se fasse rapidement pour que les pertes au champ restent dans des limites raisonnables et ne viennent pas compenser l'avantage du préfanage à la conservation en silos.

C'est par la suppression des jus que le préfanage est surtout intéressant, il est certain que dans les silos d'herbe fraîche, l'écoulement des jus est responsable de la plus grande partie des pertes. La mise sous toit des silos ou leur couverture hermétique à l'aide de plastique réduit l'écoulement de jus dans de fortes proportions en évitant le lessivage par les eaux extérieures. La conjonction des deux traitements, couverture hermétique et préfanage, permet seule de supprimer toutes les pertes par les drains. Le taux de matière sèche à atteindre dans l'herbe pour arriver à ce résultat varie très fort, il doit être d'autant plus élevé que la pression exercée sur le silage est forte : dans les silos tours, il faut atteindre 34 à 35 pour cent de matière sèche. Dans les silos normaux de 2 à 2,50 m de profondeur et fermés hermétiquement de plastique recouvert de 15 à 20 cm de terre, un taux de matière sèche de 28 pour cent semble être suffisant. Une telle teneur s'obtient toujours facilement par un préfanage de moins de 24 heures pour autant qu'il ne pleuve pas.

Dans l'état actuel des essais qui ont été d'ailleurs poursuivis en 1956, certaines conclusions intéressantes s'imposent :

1° La couverture hermétique en plastique réduit les pertes à l'ensilage dans de fortes proportions ;

2° Les pertes en principes intéressants tant organiques que minéraux, sont d'autant plus élevées que l'herbe ensilée est riche en eau ;

3° L'addition de sucre dénaturé n'a pas d'influence sur les pertes, mais est favorable quant aux qualités organoleptiques du silage.

BIBLIOGRAPHIE

(1) PIRAUX, HACQUART, JOASSIN, DESMET : Enquête sur l'ensilage des fourrages verts en Belgique. *Bull. Inst. Agr. et Stat. Rech. Gembloux*, **IV,** n° 2, 1935.

(2) PIRAUX, JOASSIN et R. COPPENS : L'ensilage des fourrages verts en Belgique. *Bull. Inst. Agr. et Stat. Rech. Gembloux*, **V,** n° 2, 1936.

(3) J. MARTIN, N. REYNTENS et F. BUYSSE : Résultats de 10 années de recherches dans le domaine du fourrage ensilé. *Rev. de l'Agr.* **n° 8,** 1951, p. 967.

(4) A. DE VUYST, M. VANBELLE, W. VERVACK et R. IMBERECHTS : Analyse critique de la qualité des ensilages réalisés en région herbagère. *Rev. de l'Agr.* **n° 9,** 1955, p. 1159.

(5) C. B. BENDER and D. K. BOSSHARDT : Grass Silage : a critical review of the literature. *J. Dairy Sci.* **n° 22,** 1939, p. 637.

(6) C.F. MONROE, J.H. HILTON, R.E. HODGSON, W.A. KING and W.E. KRAUSS: The loss of Nutrients in hay and meadow crop silage during storage. *J. Dairy Sci.* **n° 29,** 1946, p. 239.

(7) A. E. PERKINS : Dry Matter Determination in green plant material and in silage. *J. Dairy Sci.* **n° 26,** 1943, p. 545.

(8) E. BROUWER : Vergelijkend onderzoek omtrent hooiwinning en inkuiling. *Versl. Landb. Onderzoek,* **n° 35,** 1930, p. 5.

(9) S. J. WATSON and W. S. FERGUSON : Losses of dry matter and nutrients in silage. *J. Agri. Sci.* **n° 27,** 1937, p. 67.

(10) L. A. ALLEN, S. J. WATSON and W. S. FERGUSON : The effects of the addition of various materials and bacteriological cultures to grass silage. *J. Agri. Sci.* **n° 27,** 1937, p. 294.

(11) CAMBURN O.M., ELLENBERGER H.B., NEWLANDER J.A. and JONES C.H.: Legume and grass silage. *Vt Agr. Exp. Sta.*, **Bull. 434,** 1938.

(12) DAVIES W. M., BOTHAM G. H. and THOMPSON W. B. : Grass silage. A comparison of the changes involved in the ordinary, molasses, and A. I. V. processes. *J. Agri. Sci.* **n° 27,** 1937, p. 151.

(13) J. C. DE RUYTER DE WILDT, E. BROUWER en N. D. DIJKSTRA : Proefnemingen omtrent inkuiling met en zonder toevoeging van mineraal zuur. *II. Versl. Land. Onderzoek,* **n° 40,,** 1934, p. 585.

(14) E. BROUWER, J. C. DE RUYTER DE WILDT en N. D. DIJKSTRA : Proefnemingen omtrent inkuiling met en zonder toevoeging van mineraal zuur en suiker III. *Versl. Land. Onderzoek,* **n° 43,** 1937, p. 351.

(15) E. BROUWER, J. C. DE RUYTER DE WILDT en N. D. DIJKSTRA : Proefnemingen omtrent inkuiling met en zonder toevoeging van gezuurde wei of mineraal zuur plus suiker IV. *Versl. Landb. Onderzoek,* **n° 44,** 1938, p. 477.

(16) N. D. DIJKSTRA : Proefnemingen over ensilering van gras in een silo met persdeksel. *Versl. Landb. Onderzoek*, n° **51 C,** 1945.

(17) N. D. DIJKSTRA : Proefnemingen over ensileren met vast koolzuur. *Versl. Landb. Onderzoek*, n° **55.5,** 1949.

(18) N. D. DIJKSTRA : Proefnemingen over ensileren met koolzuur. *Versl. Landb. Onderzoek*, n° **57.10,** 1951.

(19) N. D. DIJKSTRA : Vergelijkende proefneming over inkuilen in een waterdichte en een gedraineerde silo. *Versl. Land. Onderzoek*, n° **57.11,** 1951.

(20) N. D. DIJKSTRA : Proefnemingen over ensileren van gras met Kofa-zout en Albumex. *Versl. Landb. Onderzoek*, n° **60.5,** 1954.

(21) J. B. SHEPHERD, C. H. GORDON, H. G. WISEMAN, C.G. MELIN, L.E. CAMPBELL and G. D. ROANE : Comporisons of silages stoud in gaztight silos and in Conventional silos. *J. Dairy Sci.* n° **36,** 1953, p. 1190.

(22) A. J. C. BARNETT : University of Aberdeen.

(23) N. D. DIJKSTRA en S. BRANDSMA : Proefnemingen over het ensileren van voorgedroogd gras. *Versl. Land. Onderzoek*, n° **61.3,** 1955.

(24) B. MAYMONE : Conservation des fourrages. *Bull. Techn. Inform.* n° **50,** 1950, p. 413.

(25) WIEGNER - Repris de MARTIN : Utilisation plus rationnelle des ressources en aliments fourragers — Compte rendu de la Session d'étude de l'O.E.C.E. sur l'Exploitation et l'Alimentation du bétail — Septembre 1954.

(26) L. HENNAUX, A. ANTOINE et R. LECOMTE : L'influence de l'alimentation sur la teneur du colostrum en vitamine A et en carotène. *Bull. Inst. Agr. et Stat. Rech. Gembloux*, **XIX,** n°s 3-4, 1951, p. 251.

(27) L. HENNAUX et A. ANTOINE : L'importance de la vitamine A en élevage bovin. *Bull. Inst. Agr. et Stat. Rech. Gembloux*, **XXIV,** n° 1, 1956, p. 40.

(28) CAMBURN O. M., ELLENBERGER H. B., JONES C. H. and CROOKS G. C. : The conservation of Alfalfa red clover, and timothy nutrients as Silages and as hays II. *Vermont Agr. Expt. Sta.* **Bull. 494,** 1942.

(29) CAMBURN O. M., ELLENBERGER H. B., JONES C. H. and CROOKS G. C. : The conservation of Alfalfa and timothy nutrients as Silages and as hays III. *Vermont Agr. Expt. Sta.* **Bull. 509,** 1944.

(30) WOODWARD T. E. and SHEPHERD J. B. : A statistical study of the influence of moisture and acidity on the polatability and fermentation losses of ensiled hay Cropa. *Journ. Dairy Sci.*, **25,** 1942, p. 517.

(31) F. B. MORISSON : Feeds and Feeding.

CHAIRE DE MICROBIOLOGIE ET DE BIOCHIMIE

Mesure de l'activité protéolytique et ammonifiante du sol

par

Léon BROUWERS

A. — INTRODUCTION

Les méthodes préconisées par bon nombre d'auteurs pour l'appréciation de la richesse d'un sol en germes protéolytiques et ammonificateurs sont basées sur l'emploi d'un milieu minéral propre à favoriser la pullulation et l'activité de ces germes.

L'apport en éléments biogéniques ainsi réalisé éloigne considérablement le phénomène étudié des conditions naturelles. On peut dès lors aisément concevoir qu'un sol caractérisé par une extrême pauvreté chimique et dont l'activité microbiologique s'en trouve déprimée, puisse manifester dans les conditions de la méthode, une activité accrue et artificielle.

C'est pourquoi, nous avons essayé d'appliquer aux analyses microbiologiques de sols qu'il nous a été donné de faire, des méthodes simples caractérisées par l'emploi d'un milieu de culture liquide constitué essentiellement de la substance dont on désire étudier l'altération, et de terre. Celle-ci joue à la fois le rôle d'inoculum et de milieu nutritif. Ainsi, les résultats fournis constituent non seulement un reflet de la richesse du sol en germes responsables du phénomène biologique à l'étude, mais également de sa richesse en éléments biogéniques capables d'assurer la prolifération et l'activité de ces germes.

Il nous semble que cette particularité confère à ces méthodes une plus grande valeur « agronomique ».

(*) Travail effectué avec l'aide de l'I.R.S.I.A.

B. — DESCRIPTION DES METHODES

1. — Appréciation de l'activité protéolytique d'un sol

Principe

Une solution de gélatine est ensemencée à l'aide d'une quantité donnée de terre à l'étude. Après incubation, on mesure par formoltitration le degré d'hydrolyse de la gélatine.

Mode opératoire

Une solution de gélatine à 12 % est répartie en erlenmeyers de 250 ml à raison de 20 ml par flacon. Après stérilisation de ce milieu à l'autoclave (20 min à 1 k), la terre est ajoutée en quantité variable selon la richesse présumée de l'échantillon.

Notons que cette stérilisation n'est peut-être pas indispensable étant donné le caractère massif de l'ensemencement mais que pour ces premiers essais d'orientation, nous avons tenu à travailler le plus aseptiquement possible. Pour ce qui est de l'hydrolyse que la stérilisation serait susceptible de provoquer au sein de la solution de gélatine, nous ne pensons pas qu'elle puisse constituer une source d'erreur importante puisqu'elle intéresse au même degré tous les flacons.

On dispose d'autre part d'une série « témoin » constituée par la même solution de gélatine additionnée de terre, le tout étant stérilisé.

Après incubation à l'étuve (35°) pendant quelques jours, le contenu des erlenmeyers est transvasé en tubes à essai. On laisse décanter et on prélève 5 ml du liquide surnageant que l'on soumet à la formoltitration (1).

Soit A le nombre de ml de soude (N/10) utilisés pour titrer la gélatine hydrolysée et B le nombre de ml de soude utilisés pour la titration du témoin stérile :

A — B = Ip Indice d'activité protéolytique du sol à l'essai.

Les mesures pouvant être échelonnées dans le temps (durées d'incubation croissantes), il est possible d'obtenir par cette méthode une courbe d'activité en fonction du temps.

2. — Appréciation de l'intensité de l'Ammonification dans un sol

Principe

Une solution d'un acide aminé donné est ensemencée à l'aide d'une certaine quantité de terre. Après incubation à l'étuve, on mesure par formoltitration le degré de décomposition de l'acide aminé.

Mode opératoire

Répartir à raison de 5 ml par tube à essai un milieu constitué par une solution stérile de glycine à 5 ‰.

Ajouter une dose adéquate de terre (0,5 à 5 g) et mettre en incubation à l'étuve (28°).

Après quelques jours, filtrer le contenu des tubes après y avoir ajouté 5 ml d'eau distillée et prélever 5 ml du filtrat qui seront soumis à la formoltitration.

On disposera d'autre part d'un témoin stérile constitué selon les mêmes modalités mais dont la terre aura été préalablement stérilisée.

Si B est le nombre de ml de soude (N/50) utilisés pour titrer le témoin stérile et A le nombre de ml utilisés pour titrer la solution de glycine hydrolysée, B — A = Ia Indice d'activité de l'Ammonification dans le sol à l'essai.

Cette méthode peut également donner lieu à l'établissement d'une courbe d'activité en fonction du temps d'incubation.

C. — QUELQUES EXEMPLES

Les tableaux de résultats qui suivent illustrent les possibilités qu'offrent les méthodes décrites ci-dessus appliquées à la caractérisation biologique des sols.

Outre les différences très nettes qui apparaissent entre les activités des terres mises en compétition, il y a lieu de remarquer l'allure régulière et logique des variations en fonction de la dose de terre et du temps d'incubation.

Mars 1957

BIBLIOGRAPHIE

(1) Konrad Bernhauer : Gärungschemisches Praktikum. Berlin, Julius Springer 1936.

TABLEAU 1

Comparaison de l'activité protéolytique dans deux sols de même origine pédologique dont l'un porte des arbres feuillus et l'autre des résineux

Temps d'incubation	Dose de terre en g	Terre sous feuillus			Terre sous résineux		
		ml NaOH	Moyennes	Indice	ml NaOH	Moyennes	Indice
2 jours	1	8,70 9,70	9,20	3,30	6,30 6,50	6,40	0,15
	2	8,80 10,10	9,45	3,55	6,40 6,90	6,65	0,40
	5	10,00 12,2	11,10	5,20	6,30 6,30	6,30	0,05
	Témoin stérile	5,80 6,00	5,90		6,20 6,30	6,25	
4 jours	1	16,20 20,40	18,30	12,05	9,30 9,50	9,40	3,00
	2	27,00 27,10	27,05	20,80	9,90 11,90	10,90	4,50
	5	37,00 38,20	37,60	31,35	15,30 13,00	14,15	7,75
	Témoin stérile	6,20 6,30	6,25		6,40 6,40	6,40	

TABLEAU II

Comparaison de l'activité ammonifiante dans deux sols de même origine pédologique mais portant des végétations différentes (feuillus et résineux)

Temps d'incubation	Dose de terre en g	Terre sous feuillus			Terre sous résineux		
		ml NaOH	Moyennes	Indice	ml NaOH	Moyennes	Indice
3 jours	1	4,00 4,00	4,00	0,00	4,30 4,40	4,35	0,00
	2	3,30 3,40	3,35	0,65	4,00 4,20	4,10	0,00
	4	1,90 2,30	2,10	1,90	4,00 3,80	3,90	0,15
	Témoin stérile	4,00 4,00	4,00		4,10 4,00	4,05	
5 jours	1	2,90 3,40	3,15	0,90	4,10 4,40	4,25	0,00
	2	2,30 2,30	2,30	1,75	4,10 4,10	4,10	0,00
	4	1,40 1,40	1,40	2,65	3,70 3,80	3,75	0,25
	Témoin stérile	4,00 4,10	4,05		4,00 4,00	4,00	
7 jours	1	2,20 2,40	2,30	1,75	3,70 4,00	3,85	0,10
	2	1,50 1,60	1,55	2,50	3,70 3,80	3,75	0,20
	4	1,10 1,10	1,10	2,95	3,30 3,40	3,35	0,60
	Témoin stérile	4,00 4,10	4,05		3,80 4,10	3,95	

TABLEAU III

Comparaison de l'activité ammonifiante dans une terre de jardin et une terre de culture

Temps d'incubation	Dose de terre en g	Terre de jardin			Terre de culture		
		ml NaOH	Moyennes	Indice	ml NaOH	Moyennes	Indice
3 jours	0,5	5,20 5,40	5,30	1,80	6,50 6,50	6,50	0,50
	1	4,70 4,70	4,70	2,40	5,70 6,40	6,05	0,95
	2	3,80 4,10	3,95	3,15	5,00 5,00	5,00	2,00
	Témoin stérile	7,00 7,20	7,10		7,00 7,00	7,00	
5 jours	0,5	3,70 3,70	3,70	3,00	5,30 5,50	5,40	1,15
	1	3,10 3,20	3,15	3,55	4,50 5,00	4,75	1,80
	2	2,50 2,70	2,60	4,10	3,30 3,50	3,40	3,15
	Témoin stérile	6,40 7,00	6,70		6,50 6,60	6,55	

Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques

par

Pierre DAGNELIE

TROISIEME PARTIE

INTERPRETATION DES RESULTATS

INTRODUCTION

Les deux premières parties de notre étude étaient consacrées respectivement au choix d'un critère de station, et à son utilisation dans les hêtraies de l'Ardenne centrale (*) : cette troisième et dernière partie a trait à l'analyse statistique et à l'interprétation des résultats dendrométriques obtenus dans quatre-vingts places d'essai, en relation avec des observations écologiques, phytosociologiques et sylvicoles. Rappelons que dans chacune des stations les cinq plus gros arbres d'une surface de six ares environ ont été mesurés (deux fois en hauteur et une fois en circonférence), et que leur âge a été estimé le plus souvent possible : tous les résultats obtenus et toutes les observations effectuées ont été présentés en un tableau annexé à la deuxième partie.

PLAN DE LA TROISIEME PARTIE

A. Analyse statistique de la qualité des stations 45

I. Confrontations préliminaires 45

II. Etude de la liaison entre les types phytosociologiques et la qualité des stations 56

III. Etude de la liaison entre les facteurs écologiques et la qualité des stations 61

IV. Discussion et conclusions 70

(*) Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux 24, 249-284 et 369-410, 1956.

B. Etude de la productivité et de quelques caractéristiques des peuplements
I. Croissance et production des peuplements 74
II. Structure et qualité des peuplements 84
III. Conclusions 89
Index bibliographique de la troisième partie 89
Résumé de la troisième partie 90
Conclusions générales 91

A. — ANALYSE STATISTIQUE DE LA QUALITE DES STATIONS

L'analyse des résultats dendrométriques est basée principalement sur l'application de *méthodes statistiques classiques* (ajustement et critique de l'ajustement par le test-χ^2 ; analyse de la variance ; test-t de Student). Celles-ci sont décrites de manière détaillée par de nombreux auteurs ; aussi n'en exposerons-nous que sommairement le principe, en nous référant à certains ouvrages fondamentaux, tels que ceux de FISHER (1947), FISHER et YATES (1952) et VESSEREAU (1948) (*).

Avant d'utiliser les tests statistiques, il est utile de vérifier la validité de certaines hypothèses qui seront émises lors de leur application. Après ces confrontations préliminaires, deux points de vue seront envisagés : la liaison entre la qualité des stations et les types phytosociologiques d'une part, entre la qualité des stations et les facteurs écologiques d'autre part.

I. — Confrontations préliminaires

a. — NORMALITE DE LA DISTRIBUTION DES ERREURS DE MESURE

Avant d'appliquer l'analyse de la variance, nous avons voulu mettre en évidence la normalité de la distribution des erreurs de mesure. Dans ce but il aurait fallu en principe considérer séparément chaque paire de mesures (x_{ij1}, x_{ij2}), qui constitue chacune un échantillon de deux individus extrait de la population de mesures correspondant à chacun des 400 arbres mesurés (**). On peut éviter de tester séparément la normalité des différentes populations en se basant sur le principe suivant : la variable (x_{ij1}-x_{ij2}) est la différence de deux variables aléatoires indépendantes ayant la même distribution normale de moyenne m et d'écart-type $\sigma_{x_{ijk}}$. Elle est de ce fait elle-même distribuée selon la loi normale $(0, \sqrt{2}\,\sigma_{x_{ijk}})$.

Nous avons calculé les 400 valeurs absolues $|x_{ij1}-x_{ij2}|$, dont les fréquences d'occurrence sont données au tableau 21 (colonne 2). A partir

(*) Renvois à l'index bibliographique de la troisième partie (p. 89).
(**) Les notations utilisées dans la présentation et dans le dépouillement des résultats dendrométriques ont été définies au cours de la deuxième partie (pp. 388-389).

de ces données, la valeur de $\sigma^2_{x_{ijk}}$ peut être estimée à $s^2_{x_{ijk}} = \frac{514.52}{800}$ = 0.6431, l'écart-type correspondant étant $s_{x_{ijk}} = 0.802$.

Pour montrer que x_{ij1}-x_{ij2} est distribué normalement, il suffit de montrer que la distribution de $|x_{ij1}-x_{ij2}|$ correspond à la moitié positive de la courbe normale d'écart-type égal à $\sqrt{2}\ s_{x_{ijk}}$.

Le tableau 21 groupe les calculs nécessités par la méthode générale de l'ajustement :

Col. 3 : écarts réduits correspondant aux limites de catégories : $\frac{0.05}{\sqrt{2}\ s_{x_{ijk}}}, \frac{0.15}{\sqrt{2}\ s_{x_{ijk}}}, \ldots, \frac{2.65}{\sqrt{2}\ s_{x_{ijk}}}$;

Col. 4 : fréquences cumulées correspondant à ces différentes valeurs de l'écart réduit, selon la distribution normale ;

Col. 5 : fréquences théoriques relatives, obtenues par soustraction des fréquences cumulées ;

Col. 6 : fréquences théoriques absolues, obtenues en multipliant les valeurs de la colonne 5 par 800, de manière à avoir un total égal à 400 ;

Col. 7 : différences entre les fréquences théoriques (col. 6) et les fréquences observées (col.2) :

Col. 8 : contributions à la valeur χ^2 définie par la formule $\frac{(f-o)^2}{f}$ où f et o sont respectivement les fréquences théoriques et observées.

La valeur χ^2 est $\chi^2 = \Sigma \frac{(f-o)^2}{f}$, la somme s'étendant à toutes les catégories (toutes les lignes du tableau). Le nombre de degrés de liberté de l'estimation est $(n-3) = 21$, n étant le nombre de catégories.

La valeur obtenue ($\chi^2 = 15.7$) correspond à une probabilité de 0.8 : la distribution des erreurs ne s'écarte donc pas significativement de la distribution normale.

En fait, le résultat de ce test ne serait strictement valable que si les différences (x_{ij1}-x_{ij2}) étaient indépendantes de i et de j. Or, en calculant le coefficient de corrélation et en appliquant le test de Olmstead et Tukey (Cf. p. 54), nous avons observé l'existence d'une liaison significative mais apparemment très lâche entre $\frac{\Sigma_j\ |x_{ij1}-x_{ij2}|}{10}$ et $x_{i.}$, c'est-à-dire entre la moyenne des erreurs de mesure et la hauteur moyenne des arbres dans chacune des stations. Malgré le résultat de l'ajustement (valeur χ^2 inférieure au niveau de signification), il pourrait donc exister un faible écart entre la distribution des erreurs de mesure et la distribution normale.

	Fréquences observées	Ecarts réduits	Fréquences théoriques cumulées	Fréquences théoriques relatives	Fréquences théoriques absolues	Différ. de fréquences absolues	Contributions à χ^2
1	2	3	4	5	6	7	8
0.0	12	0.00	0.00000	0.01595	12.8	—0.8	0.05
0.1	28	0.04	0.01595	0.03577	28.6	—0.6	0.01
0.2	31	0.13	0.05172	0.03534	28.3	2.7	0.26
0.3	36	0.22	0.08706	0.03466	27.7	8.3	2.49
0.4	25	0.31	0.12172	0.03370	27.0	—2.0	0.15
0.5	31	0.40	0.15542	0.02897	23.2	7.8	2.62
0.6	21	0.48	0.18439	0.03127	25.0	—4.0	0.64
0.7	21	0.57	0.21566	0.02971	23.8	—2.8	0.33
0.8	25	0.66	0.24537	0.02800	22.4	2.6	0.30
0.9	21	0.75	0.27337	0.02618	20.9	0.1	0.00
1.0	15	0.84	0.29955	0.02426	19.4	—4.4	1.00
1.1	19	0.93	0.32381	0.01994	16.0	3.0	0.56
1.2	15	1.01	0.34375	0.02058	16.5	—1.5	0.14
1.3	15	1.10	0.36433	0.01865	14.9	0.1	0.00
1.4	14	1.19	0.38298	0.01675	13.4	0.6	0.03
1.5	11	1.28	0.39973	0.01493	11.9	—0.9	0.07
1.6	5	1.37	0.41466	0.01181	9.4	—4.4	2.06
1.7	13	1.45	0.42647	0.01175	9.4	3.6	1.38
1.8	7	1.54	0.43822	0.01023	8.2	—1.2	0.18
1.9-2.0	8	1.63	0.44845	0.01640	13.1	—5.1	1.99
2.1-2.2	10	1.81	0.46485	0.01130	9.0	1.0	0.11
2.3-2.4	5	1.98	0.47615	0.00846	6.8	—1.8	0.48
2.5-2.6	6	2.16	0.48461	0.00575	4.6	1.4	0.43
2.7 et +	6	2.34	0.49036	0.00964	7.7	—1.7	0.38
		∞	0.50000				
Totaux	400			0.50000	400	0.0	15.66

TABLEAU 21 : Ajustement de la distribution des erreurs de mesure et test-χ^2

Néanmoins ce faible écart, s'il existe réellement, ne permet certainement pas de mettre en doute le résultat final, à savoir la signification des différences de hauteur entre arbres par rapport aux erreurs de mesure, signification qui apparaîtra ultérieurement à un niveau très élevé (tableau 23, p. ???).

b. — NORMALITE DE LA DISTRIBUTION DES HAUTEURS D'ARBRES DANS LES DIFFERENTES STATIONS

Avant d'appliquer l'analyse de la variance, il faudrait vérifier également la normalité de la distribution des hauteurs d'arbres dans les échantillons prélevés dans chacune des stations. Malheureusement, l'effectif des échantillons, égal à 5, est insuffisant pour permettre l'ap-

plication des tests classiques de normalité (ajustement et test-χ^2, calcul des coefficients de Pearson). Deux confrontations intéressantes peuvent toutefois être effectuées.

1° Symétrie de la distribution

Dans chacune des stations, nous avons compté le nombre d'arbres dont la hauteur est inférieure à la moyenne-échantillon de la station. Ce nombre est égal à 1, 2, 3 ou 4 ; les fréquences observées pour chacune de ces quatre valeurs sont données au tableau 22. Dans un seul cas, un arbre avait une hauteur égale à la moyenne-échantillon de la station, deux arbres étant plus petits que la moyenne et les deux derniers plus grands que celle-ci (*).

Considérons dans chacune des stations l'arbre j = 1. La variable

$$x_{i1.} - x_{i..} = x_{i1.} - \frac{x_{i1.} + x_{i2.} + x_{i3.} + x_{i4.} + x_{i5}}{5} =$$

$$\frac{4}{5} x_{i1.} - \frac{1}{5} x_{i2.} - \frac{1}{5} x_{i3.} - \frac{1}{5} x_{i4.} - \frac{1}{5} x_{i5.}$$

est la somme de cinq variables aléatoires indépendantes distribuées normalement. Elle est elle-même distribuée selon une loi normale de moyenne nulle, la somme des coefficients

$$\left(\frac{4}{5} - \frac{1}{5} - \frac{1}{5} - \frac{1}{5} - \frac{1}{5} \right)$$

étant en effet égale à zéro.

Un raisonnement analogue peut être tenu pour j = 2, 3, 4 et 5. Et, considérant que la distribution normale est symétrique, on a, pour toutes les valeurs de j, $P(x_{ij.} - x_{i..} > 0) = P(x_{ij.} - x_{i..} < 0) = \frac{1}{2}$

Les événements $(x_{ij.} - x_{i..} > 0)$ et $(x_{ij.} - x_{i..} < 0)$ sont deux événements complémentaires dont l'occurrence peut être étudiée par la loi binomiale de probabilité $\frac{1}{2}$.

La probalité d'avoir sur 400 arbres 197.5 tiges au moins inférieures à la moyenne est donnée par la loi normale, dans le cas limite où elle peut se substituer à la loi binominale (**).

On a $d = \frac{197.5 - 200}{\sqrt{400 \times 0.5 \times 0.5}} = \frac{-2.5}{10} = 0.25$. La probabilité correspondante est proche de 0.8. Le niveau de signification de 5 %

(*) Dans cette confrontation, la hauteur moyenne observée dans chacune des stations était exprimée avec deux décimales.

(**) Le terme 0.5 ajouté à 197 s'explique par la présence d'un arbre de hauteur égale à la moyenne de la station à laquelle il appartient.

Arbres inférieurs à la moyenne de la station (Nombre par station)	Fréquences	Arbres inférieurs à la moyenne de la station (Nombre total)
1	6	6
2	35	70
3	35	105
4	4	16
Totaux	80	197

TABLEAU 22 : Nombre d'arbres de hauteur inférieure à la moyenne, dans les 80 stations, et fréquences correspondantes.

n'est donc pas atteint, et on peut admettre valablement la symétrie de la distribution de population des hauteurs d'arbres dans les 80 stations considérées.

2° Comparaison des écarts

Geary (1935) établit que, pour des échantillons d'effectif égal à 5 et extraits d'une population normale, le rapport de l'amplitude à l'écart-type est distribué avec une moyenne 2.326 et un écart-type 0.864.

La colonne 23 du tableau annexé à la deuxième partie donne les valeurs de ce rapport $\frac{\alpha_i}{\sigma_i}$ dans les 80 stations. On constate que la différence la plus grande par rapport à la moyenne théorique est 2.82 — 2.326 = 0.494, soit 0.57 fois l'écart-type théorique (station 25). Dans les 79 autres cas, cette différence est inférieure à la moitié de l'écart-type donné par Geary. Il semble donc logique de ne pas rejeter l'hypothèse de normalité, bien que, ne connaissant pas la distribution de $\frac{\alpha}{\sigma}$, nous ne pouvons nous prononcer définitivement sur la signification des écarts observés par rapport à la moyenne théorique.

3° Conclusions

Les deux comparaisons établies ci-dessus semblent montrer que la distribution des hauteurs d'arbres dans les 80 stations ne s'écarte pas fortement de la distribution normale : il s'agirait en tout cas d'une distribution en cloche, symétrique et unimodale, et il semble donc valable d'appliquer l'analyse de la variance.

c. — SIGNIFICATION DE LA VARIANCE ENTRE ARBRES ET DE LA VARIANCE ENTRE STATIONS

Comme nous l'avons vu dans la deuxième partie (pp. 387-388), pour pouvoir comparer les stations entre elles il faut établir au préalable que la variance entre stations est significativement supérieure à la variance entre arbres, celle-ci étant elle-même significativement supérieure à la variance due aux erreurs de mesure.

La *variance entre stations* est : $\sigma_s^2 = \frac{n_2 n_3 \sum_i (x_{i..} - x_{...})^2}{n_1 - 1}$. La variation entre stations est calculée à partir des valeurs renseignées dans la colonne 18 de l'annexe : $n_2 n_3 \sum_i (x_{i..} - x_{...})^2 = 8807.64$, la moyenne générale étant $x_{...} = \frac{2146.3}{80} = 26.83$ mètres et le nombre de degrés de liberté $(n_1 - 1)$ étant égal à 79.

La *variance moyenne entre arbres*, dans les stations, est : $\sigma_a^2 = \frac{n_3 \sum_i \sum_j (x_{ij.} - x_{i..})^2}{n_1 (n_2 - 1)}$. La somme des variances de la colonne 20 de l'annexe est égale à

$$\frac{\sum_i \sum_j (x_{ij.} - x_{i..})^2}{n_2 - 1} = 150.88 :$$

calculée avec plus de précision, la variation correspondante est $n_3 \sum_i \sum_j (x_{ij.} - x_{i..})^2 = 1208.57$, avec $n_1 (n_2 - 1) = 320$ degrés de liberté.

La *variance due aux erreurs de mesure* est : $\sigma_r^2 = \frac{\sum_i \sum_j \sum_k (x_{ijk} - x_{ij.})^2}{n_1 n_2 (n_3 - 1)} = 0{,}6431$ (Cf. p. 46).

La variation correspondante est $\sum_i \sum_j \sum_k (x_{ijk} - x_{ij.})^2 = 257.26$ avec $n_1 n_2 (n_3 - 1) = 400$ degrés de liberté.

Connaissant ces différentes valeurs, il est possible d'effectuer une analyse de variance dans laquelle la variance totale entre arbres est comparée à la variance de l'erreur, et la variance entre stations à la variance entre arbres dans les stations (tableau 23).

Notons que cette analyse suppose que les différentes estimations de variance sont indépendantes. Vu les niveaux de signification particulièrement élevés qui sont atteints dans ces deux confrontations, nous n'avons pas cherché à vérifier ces indépendances, qu'aucune raison apparente ne semble d'ailleurs infirmer.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Entre stations	79	8807.64	111.5	29.5***
Dans les stations (entre arbres)	320	1208.57	3.78	
Total (entre arbres)	399	10016.21	25.1	39.0***
Entre mesures	400	257.26	0.64	
Total général	799	10273.47		

TABLEAU 23 : Analyse de la variance entre les 800 mesures de hauteur.

L'existence de deux différences très hautement significatives permet de ne considérer dorénavant que les 80 valeurs du critère de station, indépendamment des mesures effectuées dans chacune des places d'essai. Si l'on appelle x_i ces 80 valeurs et $\bar{x}$ leur moyenne, la variance du critère de station est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} = 11.15.$$ La variation correspondante est $\sum_i (x_i - \bar{x})^2 = 880.76$.

d. — RELATION ENTRE L'AGE ET LE CRITERE DE STATION

Pour que la hauteur moyenne des 40 à 50 % plus gros bois *à maturité* constitue un critère de station valable, il faut montrer que celui-ci est, en probabilité, indépendant de l'âge du peuplement. Cette indépendance peut être mise en évidence par plusieurs tests.

1° Calcul du coefficient de corrélation

La représentation graphique des 56 couples âge-hauteur est donnée par la figure 17, chaque point représentant une station.

L'application du calcul classique du coefficient de corrélation donne les résultats suivants :

moyenne générale de la hauteur (56 stations) : 26,59 mètres ;
moyenne générale de l'âge : 164.6 ans ;
variance de la hauteur (variance entre stations) : 9.59 ;
variance de l'âge (variance entre stations) : 508 ;
covariance : — 15.22 ;

coefficient de corrélation :

$$r = \frac{-15.22}{\sqrt{9.59 \times 508}} = -0.22.$$

Pour un nombre de couples n suffisamment grand, il est possible de voir très simplement si r est significativement différent de zéro : dans

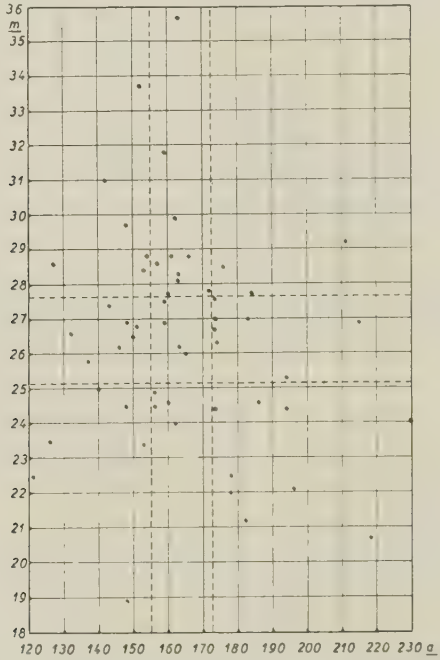


Figure 17 — Relation entre l'âge et le critère de station.

ces conditions, $r\sqrt{n}$ est en effet approximativement distribué selon la loi normale réduite (Vessereau 1948) :

$$r\sqrt{n} = -0.22 \sqrt{56} = -1.63.$$

Ce résultat inférieur à 1.96 en valeur absolue, n'est pas significatif au niveau 5 %.

2° Test-χ^2 d'association

La méthode du coefficient de corrélation suppose que les deux variables (âge et hauteur) sont distribuées normalement et que la liaison qui pourrait exister entre elles est linéaire. Nous n'avons pas vérifié ces hypothèses, et il est intéressant de confirmer la conclusion établie ci-dessus par une méthode indépendante de la fonction de

distribution des variables et de la nature de la liaison (méthode non-paramétrique).

Les hauteurs et les âges sont divisés en un certain nombre de catégories : trois catégories de hauteur correspondant aux trois *lignes* et trois catégories d'âge correspondant aux trois *colonnes* du tableau de contingence (figure 17 et tableau 24). On compte ensuite le nombre de stations appartenant à chacune des 9 cases ainsi délimitées, à chacune des lignes et à chacune des colonnes. Ces fréquences observées sont indiquées à la ligne supérieure de chaque case, et dans la ligne et la colonne « Totaux ».

Hauteurs	Ages			Totaux
	121 à 154	155 à 172	173 à 230	
27.7 à 35.7	6 6.45	10 6.1	3 6.45	19
25.2 à 27.6	7 6.1	4 5.8	7 6.1	18
18.4 à 25.1	6 6.45	4 6.1	9 6.45	19
Totaux	19	18	19	56

TABLEAU 24 : Tableau de contingence : liaison entre l'âge et le critère de station.

Par exemple, des 56 places d'essai pour lesquelles l'âge a pu être estimé, 18 ont un critère de station compris entre 25.2 et 27.6 mètres ; parmi celle-ci, l'âge du peuplement est inférieur ou égal à 154 ans dans 7 cas, compris entre 155 et 172 ans dans 4 cas et supérieur ou égal à 173 ans dans 7 cas.

S'il y a indépendance des deux facteurs étudiés, les stations d'une qualité donnée ou d'un âge donné sont réparties au hasard dans les différentes cases de la ligne correspondant à cette qualité ou de la colonne correspondant à cet âge ; les fréquences observées dans chaque case sont proportionnelles aux fréquences totales, dites marginales. Ainsi, puisque 19 peuplements sur 56 sont âgés de 154 ans ou moins, les $\frac{19}{56}$ des 18 stations de la deuxième ligne devrait appartenir à la première

case de cette ligne : la fréquence théorique de cette case est

$$\frac{19 \times 18}{56} = 6.1.$$

Le test-χ^2 permet de vérifier si la différence entre les fréquences théoriques (ligne inférieure de chaque case) et les fréquences observées (ligne supérieure de chaque case) peut être imputée uniquement au hasard, ou si elle est due à une liaison entre les deux variables. La valeur χ^2 est déterminée par la formule utilisée lors de l'ajustement à la loi normale (p. ???) : le nombre de degrés de liberté de l'estimation est égal à $(C-1)(L-1)$, si C et L sont respectivement le nombre de lignes et de colonnes.

Dans le cas envisagé $\chi^2 = 6.9$, avec 4 degrés de liberté. Cette valeur n'est pas significative au niveau 5 % : elle correspond à une probabilité de 0.15.

3° Corner test for association

(Olmstead et Tukey 1947)

Un second test non-paramétrique, dit *corner test for association*, et tenant particulièrement compte des valeurs éloignées de la moyenne (points situés à la périphérie du *nuage* de la figure 17), a également été appliqué. Cette méthode confirme les résultats obtenus précédemment.

4° Conclusions

Dans les limites où nous les avons étudiées (âge moyen supérieur à 120 ans et critère de station supérieur à 18 mètres), les deux variables âge et hauteur ne sont pas significativement liées entre elles. Toutefois, la valeur atteinte par le coefficient de corrélation (valeur négative relativement proche du niveau de signification) semble indiquer l'existence d'une liaison négative lâche entre la hauteur et l'âge. La signification réelle de cette tendance sera précisée ultérieurement (p. 76).

e. — PRINCIPE DE L'ANALYSE STATISTIQUE ULTERIEURE

L'analyse statistique ne considérera plus dorénavant que les 80 valeurs du critère de station, indépendamment de l'âge et des différentes mesures de hauteur effectuées dans les stations.

Les méthodes utilisées dans la recherche d'une liaison entre le critère de station d'une part, les types phytosociologiques et les facteurs écologiques d'autre part sont, principalement, l'analyse de la variance et le test-t de Student, accessoirement, le test-χ^2 d'association.

1° Analyse de la variance

L'analyse de la variance permet de mettre globalement en évidence l'existence d'une différence significative entre les moyennes de différents

groupes de stations. Dans ce but, on compare par le test-F la variance entre groupes (variance due à l'effet contrôlé) à la variance dans les groupes (variance résiduelle).

Rappelons que ce test est basé sur les hypothèses de *normalité des distributions* dans les différents groupes et d'*égalité des variances* de ces distributions. L'hypothèse de normalité ne sera plus étudiée, celle d'égalité des variances sera vérifée dans certains cas à titre d'exemple, par application du même test-F.

2° Test-t de Student

Lorsque l'analyse de la variance met en évidence une hétérogénéité entre les moyennes des groupes, il est utile de considérer deux à deux les groupes de stations et de voir dans quels cas ils diffèrent significativement.

Soient deux groupes de station, d'effectifs n_1 et n_2, pour lesquels le critère de station a une valeur moyenne x_1 et x_2 ; soit σ^2 la variance résiduelle. La variable

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sigma \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 \; n_2}}}$$ est distribuée selon la loi de Student avec $(n_1 + n_2 - 2)$ degrés de liberté. Il suffit de vérifier si t est supérieur, en valeur absolue, à la valeur t_0 correspondant au niveau de signification choisi.

Lorsque $(n_1 + n_2 - 2)$ est plus grand que 30, la loi normale réduite peut être substituée à la loi de Student.

Le test-t d'homogénéité des moyennes de deux échantillons ne constitue qu'un cas particulier de l'analyse de la variance : il est basé sur *les mêmes hypothèses* que celle-ci.

3° Test-χ^2 d'association

Le test-χ^2 est utilisé comme dans l'étude de la liaison entre l'âge et la hauteur. Il n'est applicable que si les fréquences des différentes cases sont supérieures à 5. Dans le cas de fréquences petites, et pour un tableau d'association 2 x 2 (deux lignes et deux colonnes), une correction de continuité doit être apportée (YATES 1934).

Le test-χ^2 a été appliqué dans de nombreux cas parallèlement à l'analyse de la variance. Comme nous devions nous y attendre, il s'est montré beaucoup moins efficace que cette autre méthode, qui semble mieux adaptée à la confrontation de 80 données précises telles que les 80 critères de station. Aussi avons-nous abandonné le test-χ^2 dans l'étude de la liaison entre les facteurs écologiques et la qualité des stations.

4° Niveaux de signification

Dans chaque cas, les différences observées sont signalées relativement à trois niveaux de signification, représentés par les signes conventionnels suivants :

— Différence non significative, au niveau 5 % ;
* Différence significative (niveau 5 %) ;
** Différence hautement significative (niveau 1 %) ;
*** Différence très hautement significative (niveau 0.1 %).

II. — Etude de la liaison entre les types phytosociologiques et la qualité des stations

a. — VALEUR MOYENNE DU CRITERE DE STATION DANS LES DIFFERENTS TYPES PHYTOSOCIOLOGIQUES

Ces valeurs moyennes sont données au tableau 25.

Types phytosociologiques	Nombres de stations	Moyennes	Variations	Variances
Fr	5	33.80	9.82	2.45
Ft	3	31.37	0.32	0.16
Fs	5	30.12	6.29	1.57
(F)	1	(28.4)	—	—
F	14	31.58	61.97	4.77
Lf	7	27.67	4.32	0.72
Lr	5	27.12	23.39	5.85
Lt	13	28.11	17.17	1.43
Lf+Lr+Lt	25	27.79	48.53	2.02
Ls	13	25.97	22.15	1.85
L	38	27.17	98.97	2.67
Ir	5	24.98	14.07	3.52
It	7	25.79	22.57	3.76
Is	2	(25.00)	(2.00)	(2.00)
I	14	25.39	40.88	3.14
Vt	10	23.14	53.62	5.96
Vg	4	21.27	16.55	5.52
V	14	22.61	80.11	6.16
Ensemble des stations	80	26.83	880.76	11.15

TABLEAU 25 : Pour les différents types phytosociologiques : nombre de stations, valeur moyenne du critère de station, variation entre stations (somme des carrés des écarts par rapport à la moyenne) et variance entre stations.

b. — HOMOGENEITE DES VARIANCES

1° Variances résiduelles dans les sous-associations (*)

Le test-F montre qu'aucune des quatre variances résiduelles des sous-associations ne s'écarte significativement de la moyenne des trois autres.

2° Variances résiduelles dans les variantes

Dans chacune des quatre sous-associations, aucune des variances d'un type phytosociologique ne s'écarte significativement de la variance moyenne des autres types de la même sous-association (test-F).

3° Conclusions

Bien que des différences importantes de variances semblent apparaître, principalement dans les sous-associations à fétuque et à luzule, *aucune hétérogénéité significative* n'est mise en évidence. Ceci s'explique par la faible précision des estimations de variances (petit nombre de degrés de liberté).

c. — DIFFERENCES DE HAUTEUR ENTRE LES SOUS-ASSOCIATIONS

1° Analyse de la variance

La variation entre stations (tableau 25) peut être divisée en deux composantes : la variation entre sous-associations et la variation entre stations dans les sous-associations (tableau 26). Cette analyse de variance montre l'existence d'une différence très hautement significative de critère de station entre les sous-associations.

2° Test-t

Des différences très hautement significatives existent également entre les quatre sous-associations prises deux à deux, sauf entre la hêtraie à luzule et le groupe des hêtraies intermédiaires. Dans ce dernier cas, la différence est hautement significative, ainsi que le montre le schéma suivant :

	F	L	I
L	***		
I	***	**	
V	***	***	***

(*) Pour la facilité de l'exposé, nous appelons *sous-associations* les quatre grands types de hêtraies (F, L, I et V), bien que cette dénomination ne soit pas rigoureusement exacte au point de vue phytosociologique.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Entre sous-associations . . .	3	598.83	199.61	53.8***
Dans les sous-associations . .	76	281.93	3.71	
Total général (entre stations) .	79	880.76		
Entre variantes phytosociologiques (dans les sous-associations)	9	89.66	9.96	3.47**
Dans les variantes	67	192.27	2.87	
Total (dans les sous-associations)	76	281.93		
Entre variantes à fétuque . .	3	45.54	15.18	9.24**
Dans les variantes à fétuque .	10	16.43	1.64	
Total (dans la sous-association à fétuque)	13	61.97		
Entre variantes à luzule . . .	3	31.94	10.65	5.40**
Dans les variantes à luzule . .	34	67.03	1.97	
Total (dans la sous-association à luzule)	37	98.97		
Entre variantes intermédiaires	2	2.24	1.12	0.32 -
Dans les variantes intermédiaires	11	38.64	3.51	
Total (dans la sous-association intermédiaire)	13	40.88		
Entre variantes à myrtille . .	1	9.94	9.94	1.70 -
Dans les variantes à myrtille	12	70.17	5.85	
Total (dans la sous-association à myrtille)	13	80.11		

TABLEAU 26 : Analyse de la variance entre stations.

3° Test-χ^2

La valeur $\chi^2 = 35.3$ (avec 3 degrés de liberté) confirme l'existence d'une différence hautement significative entre les quatre sous-associations (tableau 27).

d. — DIFFERENCES DE HAUTEUR ENTRE LES VARIANTES PHYTOSOCIOLOGIQUES

1° Analyse de la variance

Deux dissociations successives de la variation peuvent être effectuées: tout d'abord, la variation *dans les sous-associations* est divisée en une *variation entre variantes phytosociologiques* et une variation *dans les*

Sous-associations	18.4 à 26.8	26.9 à 35.7	Totaux
F	0 6.8	14 7.2	14
L	14 18.6	24 19.4	38
I	11 6.8	3 7.2	14
V	14 6.8	0 7.2	14
Totaux	39	41	80

TABLEAU 27 : Tableau de contingence : liaison entre les sous-associations phytosociologiques et le critère de station.

variantes phytosociologiques : ensuite, on extrait de ces deux dernières variations la contribution des variantes de chacune des sous-associations (tableau 26).

— Analyse générale :

La comparaison de variances qui résulte de la première dissociation met en évidence l'existence d'une *différence hautement significative de critère de station entre les variantes, au sein des quatre sous-associations.*

— Analyses partielles :

Les comparaisons résultant de la seconde division montrent que *cette différence globale provient principalement de différences hautement significatives enregistrées entre les variantes au sein des sous-associations à fétuque et à luzule.*

2° Test-t

— Différences de hauteur entre les variantes de la hêtraie à fétuque :

La différence de hauteur observée entre les variantes de la hêtraie à fétuque provient de l'existence d'une différence significative entre la variante riche et la variante typique et d'une différence hautement significative entre la variante riche et la variante sèche. Celle-ci ne diffère pas significativement de la variante typique.

— Différences de hauteur entre les variantes de la hêtraie à luzule :

Une analyse complémentaire de la variation dans les hêtraies à luzule montre rapidement l'existence d'une différence très hautement significa-

tive entre la variante sèche et la moyenne des trois autres variantes (*variantes fraîches).*

D'une part, en éliminant de la première confrontation la variante sèche, on montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les variante fraîches (Lf, Lr et Lt). D'autre part, en comparant la variance due à la différence entre ces trois types et le type sec à la variance résiduelle observée dans les deux groupes de stations, on obtient un résultat très hautement significatif (tableau 28).

3° Test-χ^2

A titre d'exemple, le test-χ^2 a été appliqué au cas des hêtraies à luzule. Il confirme l'existence d'une différence entre la variante sèche et l'ensemble des trois variantes fraîches (tableau 29).

En appliquant la correction de continuité de Yates (Cf. p. 55), la valeur χ^2 obtenue est égale à 7.5, avec 1 degré de liberté : cette valeur est hautement significative.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Entre variantes fraîches . .	2	3.65	1.82	0.89—
Dans les variantes fraîches .	22	44.88	2.04	
Total dans les variantes fraîches (Lf, Lr et Lt) . . .	24	48.53		
Dans Ls	12	22.15		
Entre Ls et (Lf + Lr + Lt) .	1	28.29	28.29	14.4***
Variance résiduelle (Ls et Lf + Lr + Lt)	36	70.68	1.96	
Total (dans la sous-association à luzule)	37	98.97		

TABLEAU 28 : Analyse de la variance entre stations de hêtraies à luzule.

Variantes phytosociologiques	18.4 à 27.2	27.3 à 35.7	Totaux
Lf Lr Lt	8 12.5	17 12.5	25
Ls	11 6.5	2 6.5	13
Totaux	19	19	38

TABLEAU 29 : Tableau de contingence : liaison entre les variantes de la hêtraie à luzule et le critère de station.

e. — CONCLUSIONS

L'étude entreprise met en évidence la *signification des groupements phytosociologiques suivants au point de vue de la productivité de la station*, caractérisée par la hauteur atteinte par le peuplement :

Hêtraies à *Festuca silvatica* :
Variante riche (Fr) ;
Variantes *typiques* (Ft + Fs) ;

Hêtraies à *Luzula nemorosa* :
Variantes *fraîches* (Lf + Lr + Lt) ;
Variante sèche (Ls) ;

Hêtraies intermédiaires (Ir + It + Is) ;

Hêtraies à *Vaccinium Myrtillus* (Vt + Vg).

Signalons en outre qu'au point de vue de la hauteur atteinte, la hêtraie sèche à luzule s'identifie au groupe des hêtraies intermédiaires.

Une étude plus détaillée (basée sur un plus grand nombre de stations) montrerait peut-être la signification de quelques groupements supplémentaires, notamment des variantes de la hêtraie à myrtille.

III. — Etude de la liaison entre les facteurs écologiques et la qualité des stations

a. — FACTEURS GEOGRAPHIQUES

1° Valeur moyenne du critère de station dans les différents massifs forestiers

Ces valeurs moyennes sont données au tableau 30.

Massifs forestiers	Nombres	Moyennes	Ecarts
Ve	6	25.60	—1.23
SM + SH + Aw	22	26.92	+0.09
Fr	25	26.64	—0.19
Ar + Mi + Vi	13	29.38	+2.55
Br + Wa + Lu	11	24.03	—2.80
Ha	3	29.37	+2.54

TABLEAU 30 : Pour les différents massifs forestiers : nombre de stations, valeur moyenne du critère de station et écart par rapport à la hauteur moyenne générale.

2° Analyse de la variance

L'analyse de la variance met en évidence une différence hautement significative de critère de station entre les différents massifs forestiers (tableau 31).

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Entre massifs forestiers (facteur contrôlé : localisation) .	5	200.20	40.04	4.35**
Dans les massifs forestiers (variance résiduelle)	74	680.56	9.20	
Total (entre stations) . . .	79	880.76		

TABLEAU 31 : Analyse de la variance entre stations ; facteur contrôlé : localisation géographique.

3° Test-t

Les niveaux de signification des différences entre forêts ou groupes de forêts sont indiqués dans le schéma suivant :

	Ve	SM + SH + Aw	Fr	Ar + Mi + Vi	Br + Wa + Lu
SM + SH + Aw	*				
Fr	—	—			
Ar + Mi + Vi	*	*	**		
Br + Wa + Lu	—	*	*	***	
Ha	—	—	—	—	*

4° Conclusions

Certaines forêts sont insuffisamment représentées pour que des différences significatives apparaissent. Tel est par exemple le cas de la futaie de Hautfays, qui ne différerait que du massif de Bras-Warinsart (auquel est associée la Forêt de Luchy).

Néanmoins, *les quatre massifs forestiers principaux semblent correspondre à quatre niveaux de productivité.* On trouve, dans l'ordre de productivité décroissante :

1° Le massif d'Arville-Mirwart-Villance ;

2° Le massif de Saint-Hubert - Freyr (SH+SM+Aw+Fr) :

3° Le massif de Vecmont ;
4° Le massif de Bras-Warinsart (et la Forêt de Luchy).

Les distinctions observées s'expliquent aisément lorsque l'on considère la répartition géographique des sous-associations (tableau 3 : deuxième partie, p. 375) et les différences de critère de station entre les sous-associations (tableau 25, p. 56).

b. — FACTEURS TOPOGRAPHIQUES

1. — PENTE

1° Valeur moyenne du critère de station pour différentes pentes

Ces valeurs moyennes sont données au tableau 32.

2° Analyse de la variance

L'analyse de la variance confirme l'*absence*, évidente à première vue, *de relation entre la pente et la qualité des stations* (tableau 33).

2. — ORIENTATION

1° Valeur moyenne du critère de station à différentes orientations

Ces valeurs moyennes sont données au tableau 34.

2° Analyse de la variance

L'analyse de la variance ne montre pas de différence significative entre les quatre orientations, bien que la valeur de F soit proche du niveau 5 % (tableau 35, partie supérieure). Il existe toutefois une différence significative entre la hauteur des peuplements aux orientations N et E groupées en un échantillon et aux orientations S et W groupées en un deuxième échantillon, comme il apparaît au cours d'une autre analyse de variance, effectuée dans le cas où cette méthode est identique au test-t de Student (tableau 35, partie inférieure).

3. — PENTE ET ORIENTATION

Il est intéressant d'étudier la variation de la hauteur des peuplements simultanément en fonction des facteurs pente et orientation (tableau 36). Il apparaît en effet que l'*influence de l'exposition s'exerce de manière très sensible, mais seulement sur les versants accentués :* pour les pentes comprises entre 10 et 30°, les test-t met en évidence l'existence d'une différence très hautement significative entre les orientations N et E d'une part, S et W d'autre part.

Pentes	Nombres	Moyennes	Ecarts
Plateau (0-3°)	22	26.77	—0.06
Faible (4-5°)	22	27.16	+0.33
Moyenne (6-9°)	17	26.48	—0.35
Forte (10-30°)	19	26.82	—0.01

TABLEAU 32 : Nombre de stations, valeur moyenne du critère de station et écart par rapport à la moyenne générale, pour différentes catégories de pente.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Facteur contrôlé : pente . . .	3	4.51	1.50	0.13—
Variance résiduelle	76	876.25	11.53	
Total (entre stations) . . .	79	880.76		

TABLEAU 33 : Analyse de la variance entre stations ; facteur contrôlé : pente.

Orientations	Nombres	Moyennes	Ecarts
N (NNW à NE)	21	28.32	+1.47
E (ENE à SE)	8	27.27	+0.42
S (SSE à SW)	15	25.29	—1.56
W (WSW à NW)	14	26.08	—0.77
N et E (NNW à SE)	29	28.03	+1.18
S et W (SSE à NW)	29	25.67	—1.18
Moyenne générale (*)	58	26.85	—

TABLEAU 34 : Pour différentes orientations : nombre de stations, valeur moyenne du critère de station et écart par rapport à la moyenne générale des stations de pente (4 à 30°).

(*) **L'étude de l'orientation ne considère évidemment que les 58 stations de pente, à l'exclusion des stations de plateau.**

L'analyse de la variance à deux facteurs confirme l'existence d'une interaction pente x orientation très hautement significative (tableau 37). De ce fait, les variances des effets principaux ne peuvent être comparées à la variance résiduelle : le facteur pente n'a visiblement aucune signification, alors que le facteur orientation, qui possède cependant une variance élevée, n'est pas significatif lorsqu'on le compare à l'interaction.

Cette analyse n'est pas rigoureusement exacte, car elle suppose que les variations correspondant aux trois termes *pente*, *orientation* et *interaction* sont indépendantes et donc additives. Cette hypothèse n'est pas strictement vérifiée lorsque les effectifs des différents groupes de stations ne sont pas égaux. Une méthode exacte, mais longue à exposer, est décrite par KENDALL (1947) : appliquée aux données du tableau 36, elle établit des conclusions absolument identiques à celles mises en évidence par la méthode classique.

4. — ALTITUDE

1° Valeur moyenne du critère de station aux différentes altitudes

Ces valeurs moyennes sont données au tableau 38.

2° Analyse de la variance

L'analyse de la variance montre que *l'altitude est significativement en relation avec le critère de station* (tableau 39).

3° Test-t

Deux différences significatives apparaissent seulement, séparant les hêtraies plus productives de basse altitude (300 à 395 mètres) des deux groupes de hêtraies moins productives de haute altitude (450 à 495 et 500 à 545 mètres). L'ensemble des données du tableau 38 met d'ailleurs en évidence l'existence d'une liaison négative entre l'altitude et le critère de station.

Les seuils de signification sont indiqués dans le schéma suivant :

	300 à 395 m	400 à 445 m	450 à 495 m
400 à 445 m	—		
450 à 495 m	**	—	
500 à 545 m	**	—	—

c. — FACTEURS GEOLOGIQUES

1° Valeur moyenne du critère de station pour les différentes assises géologiques

Ces valeurs moyennes sont données au tableau 40.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Facteur contrôlé : orientation (N, E, S, W)	3	91.73	30.58	2.45—
Variance résiduelle . . .	54	673.66	12.48	
Total (entre stations) . .	57	765.39		
Facteur contrôlé : orientation (N et E, S et W) . .	1	80.90	80.90	6.62*
Variance résiduelle . . .	56	684.49	12.22	
Total (entre stations) . .	57	765.39		

TABLEAU 35 : Analyse de la variance entre stations de pente : facteur contrôlé : orientation.

Pentes	Orientations	Nombres	Moyennes	Ecarts
4-5°	N et E	9	27.51	+0.66
	S et W	13	26.92	+0.07
6-9°	N et E	11	26.32	—0.53
	S et W	6	26.78	—0.06
10-30°	N et E	9	30.64	+3.79
	S et W	10	23.38	—3.47

TABLEAU 36 : Nombre de stations, valeur moyenne du critère de station et écart par rapport à la moyenne des stations de pente, pour divers degrés de pente et diverses orientations.

Sources de variations	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Facteur contrôlé : pente . .	2	4.42	2.21	0.03—
Facteur contrôlé : orientation	1	80.90	80.90	0.94—
Interaction pente x orientation	2	171.77	85.88	8.79***
Variance résiduelle . . .	52	508.30	9.77	
Total (entre stations de pente)	57	765.39		

TABLEAU 37 : Analyse de la variance entre stations de pente ; facteurs contrôlés : pente et orientation.

2° Analyse de la variance

L'analyse de la variance met en évidence *l'absence de liaison entre les assises géologiques et la productivité des stations* (tableau 41).

d. — FACTEURS PEDOLOGIQUES

1. VALEUR MOYENNE DU CRITERE DE STATION POUR LES DIFFERENTS TYPES DE SOLS

Ces valeurs moyennes sont données au tableau 42.

2. PROFONDEUR DU PROFIL

L'analyse de la variance (tableau 43) montre que la hauteur des peuplements n'est pas en liaison significative avec la profondeur du profil, trois niveaux différents étant comparés :

G et Q : moins de 30 centimètres ;
A2 et P2 : 30 à 80 centimètres ;
A1 et P1 : plus de 80 centimètres.

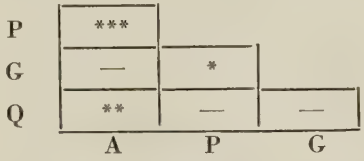
3. DEGRE D'EVOLUTION

1° Analyse de la variance

Il existe une *différence très hautement significative* entre les peuplements croissant sur sols bruns acides, sur sols bruns podzoliques, sur sols hydromorphes ou sur sols rocheux (tableau 44).

2° Test-t

En considérant deux à deux les quatre groupes de sols (A, P, G et Q), certaines différences significatives apparaissent :



4. CONDITIONS DE DRAINAGE ET D'HUMIFICATION, DANS LES SOLS BRUNS ACIDES

1° Analyse de la variance

Au sein des sols bruns acides, on montre l'existence d'une *différence hautement significative* de critère de station entre les peuplements situés sur sols à drainage normal sans dégradation superficielle (n), à drainage normal et dégradation superficielle (p) et à drainage imparfait (i) (tableau 45).

Altitudes	Nombres	Moyennes	Ecarts
300-395 m	12	29.45	+2.62
400-445 m	17	27.27	+0.44
450-495 m	29	26.02	—0.81
500-545 m	22	26.12	—0.71

TABLEAU 38 : Nombre de stations, valeur moyenne du critère de station et écart par rapport à la moyenne générale, à différentes altitudes.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Facteur contrôlé : altitude .	3	115.66	38.55	3.83*
Variance résiduelle . . .	76	765.10	10.07	
Total (entre stations) . .	79	880.76		

TABLEAU 39 : Analyse de la variance entre stations; facteur contrôlé : altitude.

Assises géologiques	Nombres	Moyennes	Ecarts
Cambrien	2	(24.40)	(—2.43)
Gedinnien	26	27.44	+0.61
Siegenien inférieur . . .	25	26.35	—0.48
Siegenien moyen	27	26.87	+0.04

TABLEAU 40 : Pour les différentes assises géologiques : nombre de stations, valeur moyenne du critère de station et écart par rapport à la moyenne générale.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Facteur contrôlé : géologie	3	27.08	9.03	0.80 —
Variance résiduelle . . .	76	853.68	11.23	
Total (entre stations) . . .	79	880.76		

TABLEAU 41 : Analyse de la variance entre stations ; facteur contrôlé : assises géologiques.

Sols	Nombres	Moyennes	Ecarts
A1n	12	29.62	+2.79
A1p	3	24.97	—1.86
A1i	—	—	—
A2n	17	28.99	+2.16
A2p	5	26.08	—0.75
A2i	21	27.17	+0.34
A1	15	28.69	+1.86
A2	43	27.76	+0.93
An	29	29.25	+2.42
Ap	8	25.66	—1.17
Ai	21	27.17	+0.34
A	58	28.00	+1.17
P1	4	23.15	—3.68
P2	9	22.31	—4.52
P	13	22.57	—4.26
G	4	26.32	—0.51
Q	5	24.70	—2.13

TABLEAU 42 : Nombre de stations, valeur moyenne du critère de station et écart par rapport à la moyenne générale, pour les différents types de sols.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Facteur contrôlé : profondeur	2	27.05	13.53	1.22—
Variance résiduelle . . .	77	853.71	11.09	
Total (entre stations) . .	79	880.76		

TABLEAU 43 : Analyse de la variance entre stations ; facteur contrôlé : profondeur du profil.

2° Test-t

L'hétérogénéité mise en évidence par l'analyse de la variance provient d'une différence significative entre les sols bruns acides de bonne qualité (n) et les sols bruns acides rendus défectueux par de mauvaises conditions de drainage (i) ou d'humification (p), ainsi que l'indique le schéma suivant :

p	***	
i	**	—
	n	p

IV. — Discussion et conclusions

1. — Facteurs écologiques influençant la qualité des stations

Les facteurs écologiques auxquels la qualité des stations est significativement liée sont :

la localisation géographique ;
l'orientation des versants accentués ;
l'altitude ;
le degré d'évolution du profil ;
les conditions de drainage et d'humification.

Certains facteurs n'ont pas été envisagés, notamment le facteur historique, qui pourrait être en liaison étroite avec la qualité des peuplements. D'autre part certaines interactions non étudiées pourraient intervenir significativement dans la détermination de la productivité, sans que les effets principaux ne soient significatifs dans l'ensemble des stations.

2. — Interprétation de la liaison statistique

Il ne faut pas interpréter abusivement le sens des liaisons mises en évidence entre la qualité des peuplements et certains facteurs écologiques. Dans un schéma d'interdépendances aussi complexe que celui que nous envisageons, l'existence de telles relations ne signifie pas nécessairement que les facteurs écologiques envisagés influencent directement la qualité des stations.

Par exemple, l'existence d'une liaison négative avec l'altitude ne prouve pas nécessairement que les conditions climatiques de végétation sont plus favorables au hêtre à basse altitude. Cette liaison s'explique en effet partiellement par la fréquence plus grande des hêtraies à fétuque dans les vallées profondes, à la faveur de versants accentués exposés au nord et à l'est, les versants sud et ouest étant fréquemment boisés en taillis ou en futaie résineuse : les hautes altitudes, comprenant essentiellement des sommets et des plateaux, sont généralement colonisées par

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Facteur contrôlé : degré d'évolution	3	339.40	113.13	15.9***
Variance résiduelle	76	541.36	7.12	
Total (entre stations)	79	880.76		

TABLEAU 44 : Analyse de la variance entre stations : facteur contrôlé : degré d'évolution du profil.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Facteurs contrôlés : drainage et humification	2	103.76	51.88	8.58**
Variance résiduelle	55	332.69	6.05	
Total (entre stations sur sols bruns acides)	57	436.45		

TABLEAU 45 : Analyse de la variance entre les stations sur sols bruns acides; facteurs contrôlés : conditions de drainage et d'humification.

Facteurs contrôlés	Variances résiduelles	Précisions relatives par rapport aux	
		sous-associations	variantes
Sous-associations	3.71	1.00	0.77
Variantes phytosociologiques	2.87	1.29	1.00
Localisation	9.20	0.40	0.31
Pente	11.53	0.32	0.25
Orientation	12.22	0.30	0.23
Pente et orientation (y compris l'interaction)	9.77	0.38	0.29
Altitude	10.07	0.37	0.29
Géologie	11.23	0.33	0.26
Profondeur du sol	11.09	0.33	0.26
Degré d'évolution	7.12	0.52	0.40
Drainage et humification (sols acides)	6.05	0.61	0.47

TABLEAU 46 : Variances résiduelles obtenues après élimination de l'effet des facteurs contrôlés ; précision des différents facteurs relativement aux facteurs *sous-associations* et *variantes phytosociologiques*.

des hêtraies à luzule ou même des hêtraies intermédiaires ou à myrtille, notamment en bordure des fanges.

De même, la liaison entre la localisation géographique et la qualité des stations fait intervenir divers autres facteurs : altitude, géologie, etc.

3. — Valeur de la phytosociologie comme critère global de la qualité des stations

L'ensemble de l'étude statistique des résultats souligne la valeur de la phytosociologie comme critère global de la qualité des stations. Le fait que le groupement végétal est la résultante de tous les facteurs écologiques et en constitue une synthèse apparaît plus nettement encore lorsque l'on considère les résultats des confrontations suivantes :

1° La *précision* avec laquelle on peut estimer la qualité des peuplements en fonction d'un facteur donné est égale à l'inverse de la variance résiduelle à l'intérieur des groupes de stations caractérisés par ce facteur. Cette variance résiduelle est la plus faible pour les variantes et, même, pour les sous-associations phytosociologiques ; la précision du facteur *phytosociologique* est donc la plus élevée (tableau 46).

La *précision relative* de l'estimation basée sur un des facteurs écologiques envisagés, par rapport à la précision de l'estimation basée sur les sous-associations (ou les variantes phytosociologiques), est égale au rapport de la variance résiduelle des sous-associations (ou des variantes) à la variance résiduelle de ce facteur. L'examen des précisions relatives montre que *le facteur phytosociologique est 2 à 4 fois plus précis que les différents facteurs écologiques.* Parmi ceux-ci, les facteurs pédologiques s'avèrent être les mieux adaptés à caractériser les stations de hêtraies.

2° D'autre part, on peut montrer qu'*au sein d'un groupement phytosociologique suffisamment bien défini, aucun des facteurs étudiés n'est significativement en relation avec la qualité des peuplements.* A titre d'exemple, nous avons mis ce fait en évidence dans la sous-association à luzule, la mieux représentée des quatre : il suffit pour cela d'effectuer à l'intérieur de cette sous-association les mêmes confrontations que celles réalisées antérieurement pour les quatre-vingts stations.

Le tableau 47 donne, en fonction des différents facteurs écologiques, le nombre de stations, la valeur moyenne du critère de station et l'écart par rapport à la moyenne générale des hêtraies à luzule, ainsi que l'écart correspondant enregistré lors de l'étude des quatre-vingts stations.

D'une manière générale, les écarts qui s'étaient montré importants dans le cas général sont sensiblement plus faibles dans les hêtraies à luzule. D'autre part, l'analyse de la variance appliquée à la comparaison des quatre types de sols An, Ap, Ai et Q montre, dans le cas où les

Facteurs écologiques	Nombres	Moyennes	Ecarts (38 stations)	Ecarts (80 stations)
Localisation				
Ve	3	27.27	+0.10	—1.23
SM + SH + Aw	10	27.06	—0.11	+0.09
Fr	14	27.24	+0.07	—0.19
Ar + Mi + Vi	5	27.68	+0.51	+2.55
Br + Wa + Lu	5	26.40	—0.77	—2.80
Ha	1	(28.2)	(+1.03)	+2.54
Topographie				
300 - 395 m	1	(28.2)	(+1.03)	+2.62
400 - 445 m	10	27.88	+0.71	+0.44
450 - 495 m	15	26.83	—0.34	—0.81
500 - 545 m	12	26.91	—0.26	—0.71
0 - 3°	15	27.05	—0.12	—0.06
4 - 5°	12	27.25	+0.08	+0.33
6 - 9°	9	27.09	—0.08	—0.35
10 - 30°	2	(27.85)	(+0.68)	—0.01
N et E (*)	11	27.59	+0.35	+1.18
S et W	12	26.92	—0.32	—1.18
4 - 5° N et E (*)	5	27 62	+0 38	—0.06
S et W	7	26.99	—0.25	+0 07
6 - 9° N et E	5	27.32	+0.08	—0.53
S et W	4	26.80	—0.44	—0.06
10 - 30° N et E	1	(28.8)	(+1.56)	+3.79
S et W	1	(26.9)	(—0.34)	—3.47
Géologie				
Cambrien	1	(26.3)	(—0.87)	(—2.43)
Gedinnien	11	27.28	+0.11	+0.61
Siegen. infér.	15	27.07	—0.10	—0.48
Siegen. moyen	11	27.25	+0.08	+0.04
Pédologie				
A1n	5	26.88	—0.29	+2.79
A1p	2	(25.45)	(—1.72)	—1.86
A1i	—	—	—	—
A2n	9	27.38	+0.21	+2.16
A2p	4	26.10	—1.07	—0.75
A2i	16	27.67	+0.50	+0.34
A1	7	26.47	—0.70	+1.86
A2	29	27.37	+0.20	+0.93
An	14	27.20	+0.03	+2.42
Ap	6	25.88	—1.29	—1.17
Ai	16	27.68	+0.51	+0.34
Q	2	(26.70)	(—0.47)	(—2.13)
Moyenne générale	38	27.17	—	—

TABLEAU 47 : Pour les différents facteurs écologiques : nombre de stations, valeur moyenne du critère de station, écart par rapport à la moyenne générale des hêtraies à luzule et écart correspondant établi pour les quatre-vingt stations.

(*) Les écarts des groupes de stations faisant intervenir l'orientation sont calculés par rapport à la moyenne générale des stations de pente.

écarts restent les plus grands, qu'il n'y a pas de différence significative (tableau 48).

Les facteurs écologiques n'établissent donc aucune distinction au sein d'un groupement phytosociologique aussi étendu et aussi varié que la sous-association à luzule, tout au moins lorsqu'ils sont considérés individuellement. La phytosociologie, elle, permet d'atteindre une précision plus grande encore en définissant deux types significativement différents l'un de l'autre au point de vue de la qualité des peuplements : un type frais (Lf + Lr + Lt) et un type sec (Ls). A plus forte raison encore, les facteurs écologiques ne permettent aucune discrimination au sein de ces unités plus étroites.

Dans l'ensemble de la sous-association, certaines tendances non significatives apparaissent néanmoins (relation entre le critère de station et l'altitude, l'exposition, la profondeur du profil, les conditions de drainage et d'humification). Une étude plus détaillée pourrait peut-être en montrer la signification réelle.

4. — Equivalence biologique

L'étude de la hauteur des peuplements permet d'assigner un même niveau de productivité à plusieurs groupements phytosociologiques, soit que ceux-ci soient relativement semblables les uns aux autres (équivalence des trois variantes fraîches de la hêtraie à luzule), soit qu'ils soient écologiquement très différents (équivalence des trois variantes *intermédiaires* et de la variante sèche à luzule).

B. — ETUDE DE LA PRODUCTIVITE ET DE QUELQUES CARACTERISTIQUES DES PEUPLEMENTS

L'analyse statistique nous a permis de montrer l'existence de différences de productivité entre des groupements végétaux définis sur des bases purement floristiques : nous essaierons maintenant de chiffrer la productivité de chacun d'eux en fonction des tables de Wiedemann (1949), et d'en caractériser le peuplement.

1. — CROISSANCE ET PRODUCTION DES PEUPLEMENTS

a. — Age, circonférence et accroissement en circonférence

1. VALEURS MOYENNES DANS DIFFERENTS TYPES PHYTOSOCIOLOGIQUES

Ces valeurs moyennes sont données au tableau 49.

La circonférence moyenne envisagée ici est la circonférence moyenne arithmétique des 40 à 50 % plus gros bois : un calcul basé sur la

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Facteur contrôlé : types de sol	3	14.47	4.82	1.94 –
Variance résiduelle	34	84.50	2.49	
Total (entre stations) . . .	37	98.97		

TABLEAU 48 : Analyse de la variance entre hêtraies à luzule; facteur contrôlé : types de sol.

Types phytosociologiques	Ages		Circonférences		Accroissements en circonf.
F	6	155 0	14	174.4	1.13
L frais	19	157.7	25	161.9	1.03
Ls	12	164.5	13	158.7	0.96
L	31	160 3	38	160.8	1.00
I	9	164.6	14	156.1	0.95
Vt	7	172.7	10	145.3	0.84
Vg	3	208.7	4	149.5	0.72
V	10	183.5	14	146.5	0.80
Moyennes	56	164.6	80	159.9	0.97

TABLEAU 49 : Pour différents types phytosociologiques : âge moyen et circonférence moyenne, nombre de stations servant à ces estimations, et accroissement annuel moyen en circonférence.

répartition des bois en catégories de grosseur (déciles de Jedlinski) permet de montrer que cette circonférence est approximativement égale à 116 % de la circonférence moyenne du peuplement (circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne).

2. ANALYSE DE LA VARIANCE

L'analyse de la variance montre que la différence entre sous-association est significative en ce qui concerne les âges et très hautement significative en ce qui concerne les circonférences (tableaux 50 et 51).

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Entre sous-associations . . .	3	4693	1564	3.49*
Dans les sous-associations (variance résiduelle)	52	23291	448	
Total (entre stations) . . .	55	27984		

TABLEAU 50 : Analyse de la variance entre âges des peuplements (56 stations) ; facteur contrôlé : sous-associations phytosociologiques.

Sources de variation	Degrés de liberté	Variations	Variances	F
Entre sous-associations . . .	3	5700	1900	8.57***
Dans les sous-associations (variance résiduelle)	76	16849	222	
Total (entre stations) . . .	79	22549		

TABLEAU 51 : Analyse de la variance entre circonférences des arbres mesurés (80 stations) ; facteur contrôlé : sous-associations phytosociologiques.

3. DISCUSSION

Sans même rechercher la signification des différences entre les sous-associations prises deux à deux, on voit apparaître une tendance à la diminution de l'âge et à l'augmentation de la circonférence dans les meilleurs types phytosociologiques, et vice-versa. Ceci explique la liaison négative qui semblait exister entre la hauteur et l'âge des peuplements (p. 54) : en effet, les peuplements de meilleure qualité ont, en moyenne une hauteur plus grande (critère de station plus élevé), mais aussi un âge plus faible.

Si la qualité de la station est en liaison positive avec la grosseur des fûts et en liaison négative avec leur âge, elle est, à plus forte raison encore, en liaison positive avec l'accroissement annuel moyen en circonférence.

Aux trois points de vue envisagés, les différences entre sous-associations peuvent donc être considérées comme significatives. Des distinctions plus étroites existent probablement au sein de ces unités phytosociologiques, notamment entre les deux types de la hêtraie à luzule, ou entre les deux variantes à myrtille. Ici à nouveau, les caractéristiques de la variante sèche à luzule s'identifient d'ailleurs remarquablement aux caractéristiques de la sous-association intermédiaire.

b. — Classes de productivité et production en volume

1. METHODE D'ESTIMATION

Les classes de productivité auxquelles appartiennent les différents types phytosociologiques et leur production en volume peuvent être estimés *par l'intermédiaire des tables de productivité*, en fonction de la hauteur atteinte et de l'âge des peuplements.

a. En ajoutant 1 mètre aux valeurs du tableau 20 (Deuxième partie, p. 406), on obtient une estimation de la hauteur moyenne des 40 à 50 % plus gros bois aux différents âges et dans les différentes classes de productivité. La partie inférieure de la figure 18 représente les courbes de hauteur donnant de 10 en 10 ans, entre 120 et 180 ans, la valeur du critère de station en fonction des classes de productivité. Connaissant la hauteur et l'âge d'un peuplement, on en détermine donc aisément la classe de productivité.

b. D'autre part, une extrapolation identique à celle effectuée à la fin de la deuxième partie permet de calculer la production totale en volume à 150 ans, et, par simple division, l'accroissement annuel moyen en volume à cet âge (tableau 52). Pour les différentes valeurs obtenues, une courbe est également ajustée en fonction des classes de productivité (figure 18, partie supérieure).

L'accroissement annuel moyen en volume bois fort du peuplement total à 150 ans est ainsi considéré comme base de référence pour chiffrer la productivité des différentes classes et des subdivisions que l'on peut y distinguer.

2. CLASSES DE PRODUCTIVITE ET PRODUCTION EN VOLUME DES DIFFERENTS GROUPEMENTS

Cinq groupes de hêtraies sont considérés (F, « L frais », L, I et V), de manière à pouvoir établir deux classements.

Ages	Accroissements périodiques en volume				Productions totales en volume				Accroissements moyens en volume			
	II	III	IV	V	II	III	IV	V	II	III	IV	V
100					707	525	377	239	7.1	5.3	3.8	2.4
105	47	39	30	22	754	564	407	261	7.2	5.4	3.9	2.5
110	47	40	30	22	801	604	437	283	7.3	5.5	4.0	2.6
115	45	39	29	22	846	643	466	305	7.3	5.6	4.1	2.7
120	43	38	29	21	889	681	495	326	7.4	5.7	4.1	2.7
125	43	38	28	21	932	719	523	347	7.5	5.8	4.2	2.8
130	42	37	28	20	974	756	551	367	7.5	5.8	4.2	2.8
135	41	37	27	20	1.015	793	578	387	7.5	5.9	4.3	2.9
140	40	36	27	19	1 055	829	605	406	7.5	5.9	4.3	2.9
145	40	36	26	19	1.095	865	631	425	7.6	6.0	4.4	2.9
150	39	35	26	18	1.134	900	657	443	7.56	6.00	4.38	2.95

TABLEAU 52 : Accroissement périodique en volume, production totale en volume et accroissement annuel moyen en volume, dans les classes II, III, IV et V de Wiedemann, de 100 à 150 ans (volume bois fort).

L'un, plus théorique, considère les quatre *sous-associations :*

1° Hêtraies à fétuque (F) ;
2° Hêtraies à luzule (L) ;
3° Hêtraies intermédiaires (I) ;
4° Hêtraies à myrtille (V).

L'autre, plus pratique, considère quatre niveaux bien définis de productivité :

1° Hêtraies à fétuque (F) ;
2° Hêtraies à luzule du type frais (L frais) ;
3° Hêtraies intermédiaires (I), au niveau desquelles se situent les hêtraies à luzule du type sec ;
4° Hêtraies à myrtille (V).

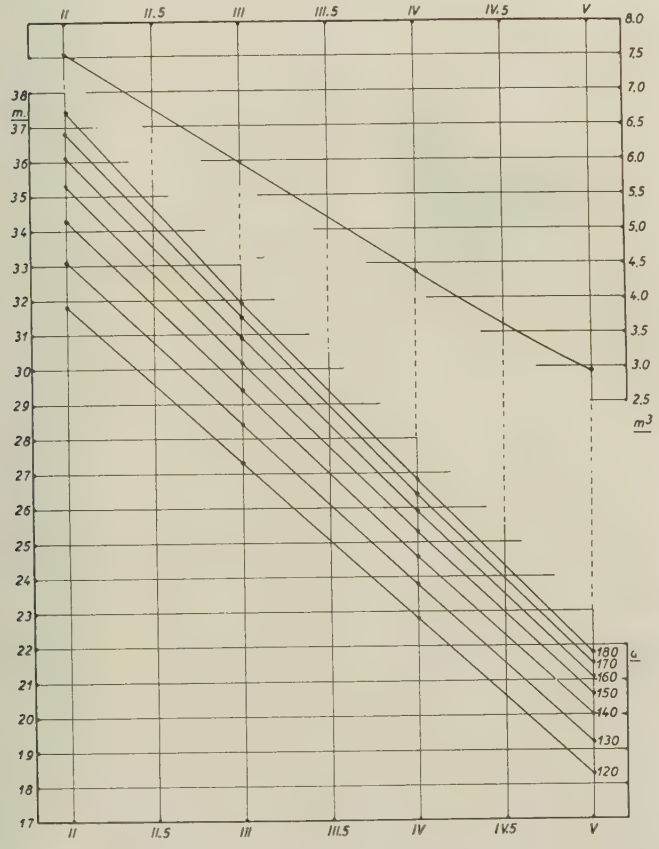


Figure 18. — Liaison entre le critère de station, les classes de productivité et la production en volume

A l'aide de la figure 18, les caractéristiques de ces différentes unités phytosociologiques sont estimées en fonction de la valeur moyenne et de la variance du critère de station (tableau 53). En représentant graphiquement l'accroissement annuel moyen en volume en fonction du critère de station, indépendamment de l'âge, on se rend compte aisément que la relation apparemment linéaire qui lie les deux variables considérées peut s'exprimer par la formule $A = 0{,}35\ H - 4{,}75$, où le critère de station H est exprimé en mètres et l'accroissement en volume A en mètres cubes par hectare et par an (figure 19).

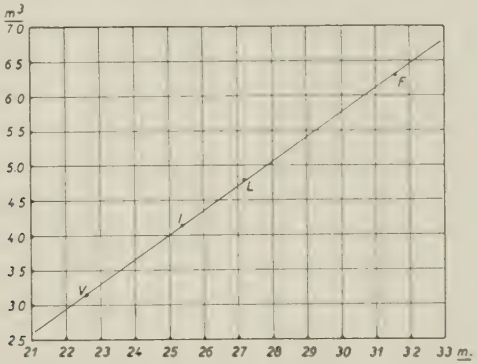


Figure 19. — Relation entre le critère de station et l'accroissement annuel moyen théorique du peuplement total en volume bois fort, indépendamment de l'âge, pour des hêtraies âgées (âge moyen : 165 ans)

Cette relation peut être représentée également par deux échelles numériques proportionnelles, disposées de telle sorte que vis-à-vis de

Types phytos.	Critère de station			Age	Classes de productivité		Accroissement annuel moyen en volume	
	Moy.	Var.	Ec.-typ.	Moy.	Moy.	Ec.-typ	Moy.	Ec.-typ.
F	31.58	4.77	2.18	155	II.8	0.5	6.3	0.8
L frais	27.79	2.02	1.42	158	III.6	0.3	5.0	0.5
L	27.17	2.67	1.63	160	III.7	0.4	4.8	0.6
I	25.39	3.14	1.77	165	IV.2	0.4	4.1	0.6
V	22.61	6.16	2.48	183	IV.9	0.6	3.1	0.9
Moyen.	26.83	11.15	3.34	165	III.8	0.8	4.6	1.2

TABLEAU 53 : Caractéristiques de productivité des principaux types phytosociologiques de hêtraies.

chaque valeur de H se trouve la valeur correspondante de A (figure 20). Une troisième échelle, déduite de la partie supérieure de la figure 18, donne la correspondance entre la production en volume et les classes de productivité ; la relation entre les trois variables est illustrée par son application aux différentes sous-associations et à l'ensemble des hêtraies étudiées : pour chacun des groupements, la figure 20 présente la valeur moyenne, un intervalle égal à deux écarts-types centré autour de la moyenne (gros traits), et un intervalle limité par les valeurs extrêmes (traits fins).

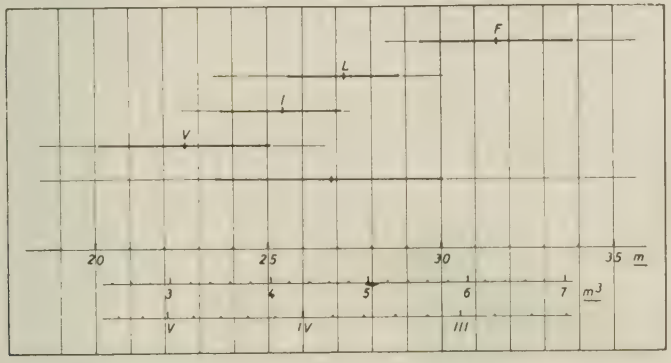


Figure 20. — Relation entre le critère de station, l'accroissement annuel moyen en volume et les classes de productivité, pour des hêtraies âgées (âge moyen : 165 ans)

3. REMARQUES SUR LA SIGNIFICATION DES ECARTS-TYPES DES CLASSES DE PRODUCTIVITE ET DE L'ACCROISSEMENT EN VOLUME

Les écarts-types donnés au tableau 53 pour les classes de productivité et les accroissements en volume sont déterminés graphiquement d'après la figure 18 en fonction des écarts-types du critère de station : nous les définissons comme étant la variation de classe de productivité ou d'accroissement en volume correspondant à une variation de hauteur égale à l'écart-type de la hauteur. Ces paramètres ne font que donner un ordre de grandeur des variations de classe de productivité et d'accroissement en volume : si l'on admet la normalité de la distribution du critère de station au sein des groupements phytosociologiques, les intervalles de deux écarts-types définis autour de la valeur moyenne contiennent dans chaque cas approximativement les deux tiers des stations du groupe considéré.

Il ne faut pas confondre les intervalles établis ci-dessus avec les intervalles de sécurité des estimations de hauteur, de productivité et d'accroissement en volume : ceux-ci sont estimés comme suit :

La variance résiduelle du critère de station dans les sous-associations est égale à 3.71 : l'écart-type est égal à 1.93. Pour une moyenne de

14 mesures (cas des hêtraies à fétuque, des hêtraies intermédiaires et des hêtraies à myrtille), le demi-intervalle de sécurité autour de la valeur moyenne est, au seuil 5 %, $1.96\ \sigma = \frac{1.96 \times 1.93}{\sqrt{14}} = 1.0$ mètre (*).

On montre facilement à l'aide de la figure 18 qu'*une variation de hauteur de 1 mètre correspond approximativement à une variation de 2 10 de classe de productivité et de 0.3 mètres cubes par hectare et par an* (pour des hêtraies âgées de 120 à 180 ans).

Les trois caractéristiques (hauteur, classe de productivité et accroissement annuel moyen en volume à 150 ans) sont donc estimées respectivement à 1 mètre près, à 2/10 de classe de productivité près et à 0.3 mètre cube près. La précision est plus grande encore dans le cas de la sous-association à luzule (moyenne de 38 observations).

L'ordre de grandeur de la précision de la moyenne générale peut être fixé de la même manière. On obtient les valeurs suivantes :

critère de station : estimé à 0.4 mètre près ;
classe de productivité : estimée à 1/10 de classe près ;
accroissement en volume : estimé à 0.15 mètre cube près.

c. — Discussion et conclusions

1. ACCROISSEMENT EN CIRCONFERENCE

Pour les bois mesurés (tiges d'élite parvenues à leur terme d'exploitabilité ou proches de celui-ci), l'accroissement annuel moyen en circonférence voisine 1 centimètre. Il est légèrement plus élevé dans les forêts plus productives, plus faible dans les forêts moins productives.

2. PRODUCTION EN VOLUME

La *production moyenne en volume bois fort* des différents types phytosociologiques s'étend approximativement *de 3 à 6 mètres cubes par hectare et par an*. Ces valeurs correspondent aux trois classes inférieures de productivité (III, IV et V). La moyenne de l'échantillon de 80 stations serait égale à 4.6 mètres cubes par hectare et par an, soit une quatrième classe de productivité.

La détermination des classes de productivité donne des résultats inférieurs encore aux valeurs admises antérieurement. Les hêtraies à fétuque, à luzule et à myrtille étaient généralement rattachées aux classes II, III et IV (deuxième partie, pp. 392 à 394), et il semble nécessaire de reculer ces différentes sous-associations de près d'une classe de productivité.

La *production en bois de fût* pourrait être calculée d'une manière détaillée en utilisant des tables d'assortiment. D'après GRUNDNER et

(*) Cette relation est également basée sur l'hypothèse de normalité.

SCHWAPPACH (1952), pour des hêtres de 150 à 180 centimètres de circonférence, et en supposant que la longueur du fût est légèrement inférieure à la moitié de la hauteur totale (COLETTE 1951), le rapport du volume bois d'œuvre au volume bois fort serait proche de 6/10, presque indépendamment de la productivité de la station. Considérant en outre qu'un déchet plus important se présente dans les peuplements de qualité inférieure, notamment en raison de la pourriture du cœur, on peut admettre que la production en bois de fût est comprise entre 1 et 4 mètres cubes par hectare et par an.

D'autre part, le terme d'exploitabilité, exprimé en fonction de la grosseur des bois, est sensiblement plus faible dans les mauvaises hêtraies. Ce fait diminue encore la valeur des bois qui y sont exploités *(production en argent)*.

3. COMPARAISON AVEC LA PRODUCTION DE LA FUTAIE DE HAUTFAYS

Nous avons essayé de vérifier la relation liant la production en volume aux types phytosociologiques d'après les résultats obtenus à Hautfays par application de la méthode du contrôle. Parmi les cent coupons de la série de futaie, il n'en est que quelques-uns qui s'étendent, en partie seulement, dans des hêtraies à fétuque, et quelques autres dans des hêtraies à myrtille, la plus grande surface de la forêt appartenant à la sous-association à luzule. De plus, l'accroissement en volume de la futaie jardinée dépendant fortement de la répartition des bois en catégories de grosseur, et celle-ci y étant fréquemment anormale notamment dans les coupons de hêtraies à fétuque, le matériel expérimental étudié à Hautfays est insuffisant pour montrer l'existence d'une relation entre les types phytosociologiques et la production en volume.

Néanmoins, les résultats obtenus par la méthode du contrôle permettent de donner une estimation valable de la production des hêtraies à luzule. Sur une surface de 28.85 hectares de hêtraies à luzule typique (coupons 34 à 45), et pendant une période de 18 ans, l'accroissement annuel moyen en volume (recoupe *aménagement*) est égal à 4.42 mètres cubes par hectare. Dans les coupons envisagés, la courbe de répartition des bois se rapproche sensiblement de la loi de Liocourt ; le chêne y occupe approximativement un tiers de la futaie (en nombre d'arbres et en volume).

Cette détermination pratique s'accorde relativement bien avec l'estimation théorique (5 $m^3 \pm 0.5$) obtenue page 80, et confirme la valeur de la méthode utilisée (*).

(*) Cette comparaison est basée sur le fait que la recoupe *aménagement* utilisée à Hautfays correspond sensiblement à la recoupe *bois fort*. La différence observée (0.58 m^3) pourrait être due à une légère différence de définition de la recoupe ou au fait que l'on compare une futaie jardinée (Hautfays) à une futaie régulière (tables de productivité). Or il est généralement admis que la production en volume de la futaie jardinée est égale ou légèrement inférieure à celle de la futaie régulière.

II. — STRUCTURE ET QUALITE DES PEUPLEMENTS

a. — Composition de la futaie

Le dépouillement des relevés phytosociologiques nous a permis de donner une estimation de l'importance prise par les essences accessoires dans les différentes hêtraies.

Le tableau 54 donne les valeurs de la présence (*) de l'érable sycomore et du chêne sessile dans les quatre sous-associations et dans l'association, pour la strate arborescente (A) et la strate herbacée (h), et pour différentes valeurs cumulées du coefficient d'abondance-dominance. La ligne « Chêne A : 3, 2 ou 1 » indique, par exemple, que dans la strate arborescente des hêtraies à fétuque (F) le chêne est présent dans 14 % des relevés avec un coefficient d'abondance-dominance supérieur ou égal à 1.

Essences, strates et abondances	F	L	I	V	Total
Erable A : 1 ou +	57	5	7	0	14
h : 2 ou 1	71	11	36	0	24
2, 1 ou +	79	24	50	7	34
Chêne A : 3 ou 2	0	8	50	57	23
3, 2 ou 1	14	26	64	86	41
3, 2, 1 ou +	57	71	71	93	73
h : 1	0	5	14	7	6
1 ou +	0	18	46	7	18

TABLEAU 54 : Présence (*) de l'érable sycomore et du chêne sessile dans la hêtraie ardennaise (Total) et dans ses quatre sous-associations (F, L, I et V)

1. L'ERABLE

La présence de l'érable dans la futaie n'est élevée que dans les hêtraies à fétuque. Les plantules sont fréquentes, et apparaissent même, quoique plus rarement, dans les hêtraies à myrtille.

2. LE CHENE

Une constatation importante complète les données du tableau 54 : en ce qui concerne les hêtraies à luzule, une distinction doit être faite entre les variantes fraîches et la variante sèche. En effet, la présence

(*) Au point de vue phytosociologique, la *présence* d'une espèce dans un groupement est égale au rapport, exprimé en %, du nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente au nombre total de relevés effectués dans le groupement considéré.

du chêne dans la strate arborescente de ces deux groupements est la suivante :

	L frais	L sec	L
3 ou 2	0	23	8
3, 2 ou 1	12	54	26
3, 2, 1 ou +	64	85	71

Il apparaît donc que le chêne, bien qu'il soit présent dans toutes les sous-associations, n'acquiert une certaine importance (abondance-dominance 2 ou 3) que dans les hêtraies à luzule du type sec, dans les hêtraies intermédiaires et dans les hêtraies à myrtille. Il y devient d'ailleurs localement aussi abondant ou plus abondant que le hêtre.

b. — Régénération naturelle de la futaie

1. DEPOUILLEMENT DES RELEVES PHYTOSOCIOLOGIQUES

La présence du hêtre dans la strate arbustive (a) et dans la strate herbacée (h) est donnée au tableau 55 (*). La dernière ligne indique les pourcentages de relevés dont toute régénération (herbacée ou arbustive) est absente.

La présence du hêtre est élevée dans le strate arbustive de toutes les sous-associations et cette espèce n'est qu'exceptionnellement exclue de la strate herbacée, sauf dans les hêtraies à myrtille, où elle est sensiblement plus rare. Notons en outre qu'aucune différence importante ne semble exister au sein des sous-associations.

Les pourcentages donnés pour la présence d'une régénération importante (a : 4, 3 ou 2 ; h : 3 ou 2) ne peuvent être étendus à l'ensemble des forêts étudiées. Nous avons en effet localisé les places d'essai dans des groupes de futaie relativement dense, ce qui exclut généralement l'existence d'une régénération abondante.

2. ETUDE DU TABLEAU DESCRIPTIF DES STATIONS

Le tableau 56 donne les fréquences d'occurrence d'une régénération très bonne, bonne, moyenne, faible ou très faible, en pour cent dans les différentes sous-associations et dans l'association. On y voit apparaître une différence nette entre les hêtraies à myrtille et les hêtraies des trois autres groupements.

Ici encore, aucune distinction n'apparaît à l'intérieur des sous-associations.

(*) Les plantules de hêtre observées au cours des relevés étaient âgées de un an au moins (faînée de 1953 en général).

Strates et abondances	F	L	I	V	Total
a : 4, 3 ou 2	29	21	43	7	24
4, 3, 2 ou 1	36	34	64	43	41
4, 3, 2, 1 ou +	57	42	64	79	55
h : 3 ou 2	50	26	29	14	29
3, 2 ou 1	93	76	93	29	74
3, 2, 1 ou +	100	95	100	43	88
Sans « a », ni « h »	0	2,5	0	14	4

TABLEAU 55 : Présence du hêtre dans la strate arbustive et dans la strate herbacée

Régénération		F	L	I	V	Total
très bonne :	BB	7	8	14	0	8
bonne :	B	21	18	14	0	15
moyenne :	M	7	8	7	7	8
BB + B + M		35	34	35	7	31
faible :	D	29	24	36	7	23
très faible :	DD	36	42	29	86	46

TABLEAU 56 : Valeur de la régénération naturelle du hêtre dans les différentes sous-associations et dans l'association : fréquences exprimées en %

3. CONCLUSIONS

Dans l'appréciation de la valeur de la régénération, il ne faut pas oublier que les hêtraies d'Ardenne sont traitées à longue révolution (180 ans, plus ou moins) et que la survivance occasionnelle mais régulière de quelques semis suffit à régénérer progressivement l'entièreté de la futaie. Considéré ainsi, *l'ensemencement naturel des hêtraies à fétuque, à luzule et intermédiaires s'avère presque toujours suffisant* et, si elle n'était entravée par des facteurs extra-naturels (gibier), la régénération en serait toujours possible.

Dans les hêtraies à myrtille, le problème doit être envisagé sous un angle tout à fait différent. L'ensemencement y est fréquemment très

faible ou même nul. Ce phénomène est dû à plusieurs causes dont certaines pourraient être corrigées par des modifications du traitement sylvicole : absence de faînée due au vieillissement de la futaie et à la présence dans celle-ci de bois issus de rejets de taillis, abondance du gibier, dégradation du sol et envahissement par la myrtille, etc. D'autre part, il faut se poser la question de savoir si le hêtre doit être maintenu à l'état dominant dans ce type de forêt qui se rattache à l'alliance du Quercion et dans lequel le chêne occupe fréquemment une place importante.

L'étude de la régénération naturelle du hêtre en relation avec les types phytosociologiques devrait être entreprise d'une manière systématique, notamment à la lumière des données nouvelles qui seront apportées prochainement à la suite de l'installation récente de nombreuses clôtures (élimination du facteur *gibier*).

c. — Densité du couvert

Le tableau 57 donne les fréquences d'occurrence d'un couvert épais, moyen et clair, en pour cent dans les différentes sous-associations. Les deux dernières lignes divisent le pourcentage afférent au couvert clair en deux parties, l'une correspondant aux peuplements subissant des coupes secondaires (annexe à la deuxième partie, colonne 9), l'autre englobant les peuplements ne subissant pas de coupes secondaires.

Couvert	F	L	I	V	Total
épais : E	29	21	14	29	23
moyen : M	42	66	50	50	56
clair : C	29	13	36	21	21
Coupes secondaires : S	29	10	22	0	14
Pas de coupes secondaires	0	3	14	21	7

TABLEAU 57 : Densité du couvert dans les différentes sous-associations et dans l'association : fréquences d'occurrence de différentes densités du couvert, en %

Une seule différence d'importance pratique apparaît entre les sous-associations : *dans un certain nombre de stations intermédiaires et à myrtille, le couvert est largement entrouvert, sans que ce phénomène ne résulte des exigences de la régénération* (absence de coupes secondaires). Cette ouverture inopportune du couvert ne se présente pas dans les hêtraies à fétuque et n'apparaît qu'exceptionnellement dans les hêtraies à luzule.

d. — Vitalité apparente

La vitalité apparente des peuplements semble être *en liaison étroite avec les types phytosociologiques* (tableau 58). La vitalité des hêtraies à fétuque est généralement bonne (très bonne à moyenne), celle des hêtraies à luzule bonne à moyenne, celle des hêtraies intermédiaires moyenne à réduite et celle des hêtraies à myrtille généralement réduite, et même fréquemment très réduite.

Vitalité apparente		F	L	I	V	Total
très bonne :	BB	29	10	0	0	10
bonne :	B	50	37	14	7	30
moyenne :	M	14	34	43	7	27.5
réduite :	D	0	16	43	57	25
très réduite :	DD	7	3	0	29	7.5

TABLEAU 58 : Vitalité apparente des peuplements dans les différentes sous-associations et dans l'association : fréquences d'occurrence de différents degrés de vitalité, en %

e. — Conformation extérieure des fûts

Une liaison analogue apparaît entre les groupements phytosociologiques et la conformation extérieure des fûts. D'après le tableau 59, on peut établir le classement suivant :

hêtraies à fétuque : conformation toujours bonne
hêtraies à luzule : conformation généralement moyenne ;
hêtraies intermédiaires : conformation généralement défectueuse ;
hêtraies à myrtille : conformation défectueuse à très défectueuse.

Conformation extérieure		F	L	I	V	Total
bonne :	B	100	13	14	0	27
moyenne :	M	0	58	14	7	31
défectueuse :	D	0	26	72	36	31
très défectueuse :	DD	0	3	0	57	11

TABLEAU 59 : Conformation extérieure des fûts dans les différentes sous-associations et dans l'association : fréquences d'occurence de différents degrés de qualité, en %

f. — Etat sanitaire du bois

L'état sanitaire du bois (pourriture du cœur notamment) *est également lié au facteur phytosociologie* (tableau 60). Dans les hêtraies à

fétuque, l'état sanitaire est généralement bon à moyen ; dans les hêtraies à luzule, il est souvent défectueux, parfois moyen ou même bon ; tandis que dans les hêtraies intermédiaires et à myrtille, il est généralement défectueux, et parfois très défectueux.

Etat sanitaire du bois		F	L	I	V	Total
bon :	B	67	23	0	10	21
moyen :	M	33	26	11	0	20
défectueux :	D	0	48	67	80	52
très défectueux :	DD	0	3	22	10	7

TABLEAU 60 : Etat sanitaire du bois dans les différentes sous-associations et dans l'association : fréquences d'occurrence de différents degrés de qualité, en %

III. — CONCLUSIONS

Ce dernier chapitre souligne l'*importance sylvicole des principales unités phytosociologiques* observées. Des différences sensibles apparaissent en effet au point de vue de la croissance et de la production du peuplement, de sa composition et de sa régénération, de sa vitalité apparente, de la conformation extérieure des fûts et de la qualité du bois.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE DE LA TROISIEME PARTIE

COLETTE, L. — 1951 — Le développement du hêtre-type en futaie jardinée - *Bull. Soc. Roy. For. Belg.* **58,** 415-420.

DAGNELIE, P. — 1956 — Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques (Première et deuxième parties) - *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux* **24,** 249-284 et 369-410.

FISHER, R. A. — 1947 — Les méthodes statistiques appliquées à la recherche scientifique - *Presses univ. de France,* Paris, 324 pp.

FISHER, R. A. et YATES, F. — 1952 — Statistical tables for biological, agricultural and medical research - *Oliver and Boyd,* Edimburgh, 126 pp.

GEARY, R. C. — 1935 — The ratio of the mean deviation to the standard deviation as a test of normality - *Biometrika* **27,** 310-332.

GRUNDNER, F. et SCHWAPPACH, A. — 1952 — Massentafeln zur Bestimmung des Holzgehaltes stehender Waldbäume und Waldbestände - Paul Parey, Berlin, 216 pp.

KENDALL, M. G. — 1947 — The advanced theory of statistics - Griffin and C°, London, 2 vol. (450 + 520 pp.)

OLMSTEAD, P. S. et TUKEY, J. W. — 1947 — A corner test for association - *Ann. Math. Stat.* **18,** 495-513.

VESSEREAU, A. — 1948 — Méthodes statistiques en biologie et en agronomie - Baillière, Paris, 381 pp.

WIEDEMANN, E. — 1949 — Ertragstafeln der wichtigsten Holzarten - Schaper, Hannover.

YATES, F. — 1934 — Contingency tables involving small numbers and the χ^2-test- *Journ. Roy. Stat. Soc.*, **Suppl. 1,** 217-235.

RESUME DE LA TROISIEME PARTIE

1° L'étude statistique des résultats de mesures est basée sur plusieurs hypothèses qui sont vérifiées au préalable. Différents tests (ajustement et test-χ^2, test de symétrie et comparaison des écarts) confirment la normalité de la distribution des erreurs de mesure et de la distribution des hauteurs d'arbres dans les différentes stations. D'autres part, l'analyse de la variance montre que la variance entre stations est très hautement significative relativement à la variance entre arbres, celle-ci étant elle-même très hautement significative par rapport à la variance due aux erreurs de mesure. Enfin, trois méthodes différentes (coefficient de corrélation, test χ^2 d'association et « corner test for association ») mettent en évidence l'absence de liaison significative entre le critère de station et l'âge des peuplements.

Dans ces conditions, l'analyse statistique ne doit considérer que les quatre-vingts valeurs du critère de station, indépendamment de l'âge et des différentes mesures effectuées dans chaque station. Les méthodes utilisées sont, principalement, l'analyse de la variance et le test-t de Student et, accessoirement, le test-χ^2 d'association.

2° L'application de ces méthodes à l'*étude de la liaison entre les types phytosociologiques et la qualité des stations* met en évidence la signification de six groupements végétaux :

deux groupes de hêtraies à fétuque : une variante riche de pente d'une part, une variante de plateau et une variante sèche de pente d'autre part ;

deux groupes de hêtraies à luzule : une variante fraîche et une variante sèche ;

un groupe de hêtraies intermédiaires ;

et un groupe de hêtraies à myrtille.

Les *facteurs écologiques* dont la liaison avec la qualité des stations est significativement mise en évidence sont la localisation géographique, l'exposition (orientation des versants accentués), l'altitude, le degré d'évolution du profil et les conditions de drainage et d'humification.

Il apparaît nettement que *le facteur « phytosociologie » est le mieux adapté à caractériser avec précision les forêts étudiées.*

3° Le dernier chapitre définit les *caractères forestiers des différents groupements végétaux* identifiés d'après la flore et la qualité des stations.

L'âge moyen, la circonférence moyenne et l'accroissement annuel moyen en circonférence des arbres mesurés sont mis en relation avec les types phytosociologiques (tableau 49).

Les classes de productivité et l'accroissement annuel moyen en volume sont estimés pour différents groupements en fonction du critère de station (tableau 53) : ceux-ci se situent dans les classes III, IV et V de Wiedemann, et produisent de 6.3 à 3.1 mètres cubes par hectare et par an (accroissement moyen en bois fort du peuplement total à 150 ans). La moyenne générale correspond à une quatrième classe de productivité, avec une production annuelle estimée à 4.6 mètres cubes par hectare.

Différents *autres caractères du peuplement* sont également en relation avec le facteur phytosociologie, à savoir : la composition de la futaie (présence de l'érable sycomore et du chêne sessile), sa régénération naturelle, la densité du couvert, la vitalité apparente du peuplement, la conformation extérieure des fûts et l'état sanitaire du bois.

CONCLUSIONS GENERALES

1. — La valeur des unités phytosociologiques

L'étude entreprise fait ressortir la valeur pratique des groupements phytosociologiques définis antérieurement sur des bases purement floristiques. *Leur signification réelle apparaît nettement, tant au point de vue de la production et des caractéristiques du peuplement qu'au point de vue écologique.*

S'il est intéressant lors de l'étude sociologique de diviser l'association en un grand nombre d'unités étroites mais bien individualisées, il faut, pour la gestion des peuplements, regrouper celles-ci en quelques types importants et aisément identifiables. L'aménagement peut alors tenir compte des données apportées par la phytosociologie, et il est possible de chercher à adapter le mode de traitement aux caractéristiques des principaux groupements.

Soulignons également le fait que la méthode phytosociologique s'est montrée particulièrement apte à caractériser les stations de hêtraies. Aucun des facteurs écologiques envisagés ne permet en effet d'atteindre la même précision. Il semble d'ailleurs que dans les hêtraies d'Ardenne comme dans nombre d'autres forêts l'étude de la flore puisse se substituer à la détermination de la hauteur comme critère de station, avec cependant une certaine perte de précision.

2. — L'étude synécologique des hêtraies et l'orientation des recherches ultérieures

Nous nous sommes principalement efforcé de décrire les groupements végétaux *(phytosociologie descriptive)* en n'envisageant qu'accessoirement l'écologie de l'association et des sous-associations *(synécologie)*. Toutefois, quelques brèves incursions dans ce second domaine auront l'avantage de donner certaines indications quant à l'orientation des recherches ultérieures.

Il apparaît nettement que *le principal facteur déterminant la répartition des différents types phytosociologiques et leur productivité est le facteur pédologique.* Celui-ci constitue d'ailleurs une première synthèse de nombreux facteurs écologiques (conditions climatiques et microclimatiques, dégradation d'origine anthropique, etc.).

Les facteurs pédologiques à considérer en premier lieu semblent être la richesse minéralogique, la qualité de la matière organique et le régime hydrique :

1° La *richesse du sol* en éléments nutritifs doit être envisagée au double point de vue de la composition chimique de la roche mère et des conditions physico-chimiques de sorption.

2° La *qualité de la matière organique* est en relation étroite avec les principales propriétés physiques et physico-chimiques du sol (drainage et aération, sorption). De plus, c'est un facteur éminemment influençable (notamment par les conditions microclimatiques), et donc éminemment variable.

3° Le *facteur eau* n'a pas encore été étudié de manière approfondie, faute de pouvoir définir facilement le régime hydrique des différents horizons au cours de périodes, de saisons et d'années normales, particulièrement sèches ou particulièrement humides.

Ces facteurs pédologiques sont tous trois également difficiles à caractériser rapidement et avec précision sur le terrain (sans analyses de laboratoire) : ils sont à l'origine des principales difficultés rencontrées dans l'étude synécologique des hêtraies d'Ardenne.

3. — L'utilisation des méthodes statistiques

Il apparaît une fois de plus que les méthodes statistiques constituent un outil indispensable au dépouillement des nombreux résultats de mesures. Toutefois, il n'est pas inutile de souligner la nécessité de choisir dans chaque cas la méthode la mieux adaptée, et notamment de considérer simultanément la valeur des méthodes paramétriques et non-paramétriques.

4. — Le problème du hêtre en Ardenne

Les résultats obtenus, s'ils l'éclaircissent quelque peu, ne résolvent néanmoins pas le problème du hêtre en Ardenne. Celui-ci se pose brutalement de la manière suivante :

Les hêtraies d'Ardenne s'étendent sur plus de trente mille hectares, leur production est faible, et leur régénération naturelle difficile. Faut-il, dans ces conditions, maintenir le hêtre à l'état pur ? En mélange ? Ou faut-il, au contraire, l'éliminer totalement ?

Notre étude donne pour la productivité une estimation inférieure encore aux valeurs généralement admises. Elle confirme ainsi l'utilité, voire la nécessité de substituer partiellement au hêtre des essences plus productives.

D'autre part il semble que la régénération naturelle du hêtre, bien que souvent difficile, est généralement possible. A ce point de vue, la hêtraie jardinée (*) garde actuellement en Ardenne une supériorité incontestable sur les autres régimes et sur les autres essences : celle d'être permanente.

Si l'on se fixe comme but de maintenir (ou de rétablir) une *forêt productive et permanente*, il faut considérer trois cas :

1° *Cas des hêtraies assez productives dont la régénération naturelle semble possible.*

(Hêtraies à fétuque et hêtraies fraîches à luzule)

La production annuelle par hectare voisine 5 ou 6 mètres cubes (bois fort). La régénération naturelle de la hêtraie étant praticable, aucun obstacle ne s'oppose en principe à son maintien. Néanmoins l'introduction d'essences à rendement plus élevé doit être envisagée. Aucun problème particulièrement urgent ne se pose, et aucun risque d'échec ne peut être couru dans la transformation en futaie mélangée : celle-ci sera très lente et progressive.

2° *Cas des hêtraies peu productives dont la régénération naturelle semble possible*

(Hêtraies sèches à luzule, hêtraies intermédiaires et certaines hêtraies à myrtille)

Le problème de la transformation se présente sous un aspect légèrement différent : la nécessité est plus grande d'augmenter une production plus faible que dans le premier cas (4 mètres cubes et moins). Une solution plus rapide devrait être trouvée et la proportion d'essences de production devrait être portée à un niveau plus élevé.

(*) Ou traitée par la méthode des coupes progressives par groupes (futaie régulière à régénération lente).

3° Cas des hêtraies généralement peu productives dont la régénération naturelle semble impraticable

(Hêtraies à myrtille, généralement)

C'est dans ce cas que le problème du hêtre se pose avec la plus grande acuité : il est devenu nécessaire de créer artificiellement une forêt si possible productive et permanente. Tout au plus peut-on espérer profiter de la vieille futaie comme peuplement d'abri. Les essences à installer devraient répondre aux conditions suivantes :

adaptation aux conditions climatiques générales ;
adaptation aux conditions édaphiques des forêts à convertir ;
production suffisante (introduction de résineux exotiques ;
possibilité de se régénérer naturellement et indéfiniment (hêtre (*), sapin argenté, certains résineux américains) ;
résistance aux invasions entomologiques et cryptogamiques.

Le mode de traitement sera choisi de manière à réaliser immédiatement le mélange des essences et le mélange des âges. La transformation sera lente et progressive, dans les limites où l'état du peuplement actuel le permet. La fertilisation et le travail du sol devront être pris en considération, ainsi d'ailleurs que la nécessité d'une protection contre le gibier.

N.d.l.r. Le mémoire de P. DAGNELIE : *Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques* a été primé par le concours universitaire 1955-1956. Il a obtenu un premier prix pour le groupe de matières « Agronomie des régions tempérées, eaux et forêts, horticulture et génie rural ».

(*) Le hêtre ne doit pas être exclu définitivement de la forêt : l'échec enregistré *actuellement* dans sa régénération peut être dû au peuplement (arbres mûrs ou issus de rejets de taillis, et ne fructifiant plus) ou aux conditions édaphiques (dégradation d'origine anthropique). Ce sont là des facteurs qui peuvent être corrigés ultérieurement.

Signification du test au chlorure de 2, 3, 5-triphényltétrazolium appliqué aux céréales en période de gel intense

DEDUCTIONS SUR LA RESISTANCE VARIETALE AU FROID (*)

par

P. DERENNE

Lors de la période de dégel qui suivit le rigoureux hiver 1953-54, nous avions appliqué le test au chlorure de 2, 3, 5-triphényltétrazolium aux céréales endommagées par le froid (1). Nous attendions, depuis lors, l'occasion de l'éprouver en pleine période de gel. Le dernier hiver nous l'a fournie.

Les blocs de terre contenant les plantules furent mis à dégeler lentement dans un local à température assez basse. Les plantules, une fois libérées, furent traitées comme nous l'avons rapporté (1). Les tissus testés présentaient la gamme des nuances qui vont du blanc au rouge vineux. Des variétés de collection, particulièrement sensibles au froid, ne réagissaient déjà plus. Les variétés très résistantes prenaient bien franchement une coloration vineuse : elles étaient bien vivantes. Mais que fallait-il penser des nuances intermédiaires présentées, généralement, par les variétés moyennement sensibles ? L'atténuation de la coloration pouvait, en effet, aussi bien présager une mort prochaine qu'un renouveau de vitalité à la reprise de la végétation.

Disons-le tout de suite. Les dégâts, dans les champs de la station, furent beaucoup moins importants que les courbes de températures ne le faisaient craindre, et les emblavures, début juin, avaient un aspect très satisfaisant.

A la période de grands froids avec un peu de neige éparse, succéda immédiatement une nouvelle vague de très basses températures qui, cependant, n'éprouvèrent plus, avec la même rigueur, les plantes qui

(*) Déposé à la rédaction le 10 décembre 1956.

avaient été, entre-temps, recouvertes d'une couche de neige relativement épaisse. Le test appliqué aux plantules prélevées en plein champ en cette dernière période des grands froids nous réservait une surprise : variétés résistantes comme variétés moyennement sensibles étaient également bien colorées, signe certain, pour ces dernières, d'une vitalité retrouvée. C'est là un élément qui peut aider à la compréhension de la résistance au froid.

Dionigi écrit (2) : « Il ressort, d'observations comparées sur des « organismes » divers et dans des conditions diverses de milieu biologique, que, dans la sphère d'une même espèce, si certains biotypes réagissent à l'augmentation de l'énergie du système (température) par une augmentation de l'activité biologique, d'autres répondent par une diminution de cette activité ».

C'est, par un certain côté de la question, le même principe que nous pourrions invoquer ici. A de très basses températures, si certaines variétés conservent une activité biologique normale, d'autres ont la leur assez fortement amoindrie. Quand les conditions deviennent meilleures, les diverses activités biologiques tendent à se normaliser. Pourquoi ne pas lier à ce principe la question de la résistance variétale au froid, puisque une interprétation physiologique est, à notre avis, seule à envisager ? Les lésions sur les plantes ne doivent être qu'une conséquence de la limitation de l'activité physiologique de la plante, la pourriture des tissus qu'une conséquence de sa mort physiologique. D'ailleurs, il y a, chez la plante, un processus de cicatrisation qui, en cas de traumatisme, lui permet de se refaire et qui interviendrait, ici, si seuls étaient en cause des dégâts mécaniques.

Il n'est pas dans nos intentions de vouloir déterminer le mode d'action du froid ou encore la nature des dégâts finals, ceux qui, en fin de compte, provoquent la mort du végétal par le froid. Il y a plusieurs théories : détérioration mécanique des parois cellulaires par les cristaux de glace, destruction de l'état colloïdal du contenu cellulaire, plasmolyse irréversible, rupture irréversible des liaisons entre molécules protéiques et molécules d'eau entraînant la coagulation des premières et la mort des cellules. On connaît, d'autre part, ce qui chez une même variété, peut modifier la résistance au froid comme, par exemple, l'abaissement lent de la température et l'augmentation parallèle du taux du sucre dans la cellule.

Mais nous voudrions entrevoir ce qui différencie les variétés entre elles. Et nous reprenons ici le concept d'activité biologique groupant tous les processus vitaux de la cellule et probablement commandée par le mécanisme de la respiration.

A des niveaux de température différents pour chaque variété, certaines activités enzymatiques tombent au-dessous du seuil minimum et l'activité biologique générale de même qu'après quelque temps, la vie de la plante sont compromises. Tout se passe alors comme si la plante

possédait un système d'auto-défense permettant la diminution progressive de la zone encore active, la localisation centrale des dernières fonctions énergétiques. Nous avons montré (1), en effet, que, sous l'action du froid, le passage de la vie à la mort, est, à la limite de résistance de la plante, un lent processus à direction centripète, partant des zones extérieures pour gagner peu à peu le centre. C'est une explication de la possibilité pour certaines plantes de survivre malgré la perte de nombreuses talles.

Nous en arrivons ainsi à dégager la signification du test appliqué aux plantes, en pleine période de gel :

a) l'absence de coloration est le signe de la mort de la plante. C'est un cas qui ne se rencontrera pratiquement pas, car, en fait, il est tout à fait inutile de tester des plantes dont la perte totale de turgescence indique à suffisance qu'elles sont sans vie ;

b) une coloration bien vineuse indique que la plante est bien en vie et que son activité biologique est normale ;

c) une coloration moins franche mais uniforme sur toute la surface de la coupe renseigne une diminution de l'activité biologique, mais aussi la possibilité d'une reprise totale si les conditions de vie s'améliorent bientôt.

d) une coloration localisée au centre de la coupe s'obtient sur une plante entre la vie et la mort : ses talles secondaires sont perdues et la conséquence en sera des emblavures fortement éclaircies.

Station d'Amélioration des Plantes de Grande Culture,
Laboratoire de cytologie

BIBLIOGRAPHIE

(1) DERENNE, P. — 1954 — Application du test du chlorure de 2, 3, 5-triphénylté-trazolium aux plantules de céréales endommagées par le froid. *Bull. de l'Inst. agron. et des Stat. de Rech. de Gembloux*, **T. XXII,** n^{os} 1-2, 155-156.

(2) DIONIGI, A. — 1948 — I frumenti per la montagna. *Genetica agraria*, vol. II, fasc. 1-2 : p. 50-72.

STATION DE RECHERCHES, DE L'ETAT, POUR L'AMELIORATION DES PLANTES DE GRANDE CULTURE, A GEMBLOUX

L'action de la cystéamine chez l'orge

par

A. MOËS (*)

Bacq, Herve et leurs collaborateurs (2) ont, par leurs recherches, mis en évidence l'action radioprotectrice de la β mercaptoéthylamine ou cystéamine : $SH\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}NH_2$: ces chercheurs ont démontré que ce composé injecté avant irradiation, diminue de 50 % l'action toxique des rayons X sur la souris.

Alexander, Charlesby et Ross ont pu établir (1) que cette amine protège également le polyméthylméthacrylate quand celui-ci est soumis à la dégradation par les radiations ionisantes.

Chez l'orge (*Hordeum sativum* Jess.), nous avons observé que la cystéamine agit : 1) sur la dormance, 2) sur la croissance, 3) sur la radiosensibilité, 4) sur la mutabilité.

1. Action sur la dormance

Lorsque, en 1954, nous avons commencé l'étude de l'influence exercée par la cystéamine sur la radiosensibilité de l'orge de printemps, nos recherches ont été contrariées parce que les grains récoltés au cours de cette année présentaient une certaine dormance. Ce phénomène apparaît fréquemment lorsque la maturité se déroule par temps pluvieux (3).

En amorçant la germination dans des solutions de cystéamine, nous avons constaté que cette substance accroissait de façon notable le taux de germination.

La méthode utilisée est la suivante :

50 grains d'orge sont disposés, dans une boîte de Pétri de 6 cm de diamètre, sur 5 cc de sable, imbibé au moyen de 3 cc d'eau ou de cystéamine neutralisée à 1, 2 et 4 % : pour chaque concentration, l'expérience porte sur 5 boîtes de Pétri : 24 heures après leur dépôt sur ces milieux (t° 20 °C), les grains sont repiqués sur sable imbibé d'eau et la germination se poursuit à 20 °C.

(*) Associé du Fonds National de la Recherche Scientifique.

Pour la variété d'orge Herta, le pouvoir germinatif est accru d'environ 20 % en présence de cystéamine :

Milieux	Pouvoirs germinatifs	Limites de probabilité pour P = 0,05 (12)
Eau	77,6 %	71,9 % - 82,7 %
Cystéamine 1 % . .	96,4 %	93,4 % - 98,3 %
Cystéamine 2 % . .	97,6 %	94,8 % - 99,1 %
Cystéamine 4 % . .	97,2 %	94,3 % - 98,8 %

En 1955, il a été impossible de répéter cet essai parce que les grains de l'année ne présentaient aucune dormance et que les semences de la récolte 1954 avaient alors atteint leur maturité physiologique et germaient à plus de 95 %.

En 1956, par contre, la situation de 1954 se renouvela ce qui nous permit de vérifier les résultats obtenus auparavant.

Un essai de germination effectué en fin novembre nous montra que plusieurs variétés d'orge de printemps qui avaient été cultivées dans le même champ et dans les mêmes conditions de fumure, de densité de semis, de date de semis, germaient très différemment à 20 °C :

Balder : 96 % ; Herta 89 % ; Piroline 63 %.

En raison du but poursuivi, nous avons retenu pour notre expérience la variété Piroline ; sur les grains de cette lignée, nous avons fait agir des solutions de cystéamine à différentes concentrations, en suivant la méthode utilisée antérieurement ; les résultats obtenus confirment ceux de 1954 :

Milieux	Pouvoirs germinatifs	Limites de probabilité pour P = 0,05
Eau	67,2 %	61,2 % - 71,9 %
Cystéamine 0,10 % .	82,0 %	76,6 % - 86,5 %
Cystéamine 0,25 % .	86,4 %	81,5 % - 90,4 %
Cystéamine 0,50 % .	84,8 %	79,7 % - 89,1 %
Cystéamine 1,00 % .	88,4 %	83,7 % - 92,0 %
Cystéamine 2,00 % .	86,4 %	81,5 % - 90,4 %

Nous avons également comparé l'action du froid à celle de la cystéamine puisqu'il est bien connu qu'une température basse stimule la germination des grains dormants (4). Pour le même lot de semences, le taux de germination atteint 99,2 % (limites pour P = 0,05 : 97,2 - 99,9 %) lorsque la germination débute durant 72 heures à 10 °C et se poursuit ultérieurement à 20 °C.

Ceci prouve que l'action d'une température basse est plus marquée que celle de la cystéamine.

Un autre essai démontre cependant que ces deux phénomènes peuvent se cumuler.

En 1956, des grains d'orge Piroline ont été prélevés à deux périodes avant maturité et mis en germination à 10 et 20 °C sur divers milieux. A 20 °C, le pouvoir germinatif est de 1,2 % pour un échantillon de 4.000 grains sans qu'aucune différence significative ait pu être décelée entre les divers traitements qui ont été étudiés.

A 10 °C, le pouvoir germinatif atteint en moyenne 23,7 % pour un échantillon de même grandeur, mais ici l'influence des mêmes traitements s'extériorise clairement. Les pouvoirs germinatifs, établis sur 500 grains, sont les suivants :

Milieux	Grains à 33,9 % d'eau		Grains à 25,5 % d'eau	
	Pouvoirs germinatifs	Limites pour P = 0,05	Pouvoirs germinatifs	Limites pour P = 0,05
Eau	9,0 %	6,6 % - 11,8 %	22,4 %	18,8 % - 26,2 %
Cystéamine 0,25 %	12,4 %	9,6 % - 15,6 %	41,2 %	36,8 % - 45,6
Cystéamine 0,50 %	17,6 %	14,3 % - 21,1 %	34,8 %	30,6 % - 39,1
Cystéamine 1,00 %	18,4 %	15,1 % - 22,0 %	33,8 %	29,6 % - 38,0 %

Nous pouvons rapprocher ces observations de données qui ont été acquises antérieurement par d'autres chercheurs. En 1936, Prokoshev et Babichev (10) prouvent que l'acide cyanhydrique et la cystéine activent la protéolyse chez les grains d'orge et de froment. En 1944, Thompson et Horn (13) découvrent que la germination de la laitue est stimulée par la thiourée à la température de 25 à 35 °C. En 1948, Romano (11) démontre que pendant la germination du grain de froment, le pouvoir réducteur est cent fois plus élevé que pendant la maturation.

La cystéamine ainsi que l'acide cyanhydrique, la cystéine et la thiourée sont des réducteurs. On peut donc admettre que la cystéamine

diminue la dormance par son action réductrice. Il faut cependant noter que la cystéamine est un constituant du coenzyme A qui joue un rôle important dans le métabolisme des glucides, des lipides et aussi des protides. Il ne serait pas exclu que dans certains cas, la cystéamine puisse jouer un rôle direct du fait de son intégration dans le coenzyme A mais, chez le grain d'orge il n'y a pas de preuves en faveur d'une telle hypothèse.

Le rôle du froid est plus marqué que celui de la β mercaptoéthylamine ; ces deux phénomènes ne sont donc pas de même nature. La plupart des enzymes peuvent, suivant le milieu, catalyser soit la synthèse soit l'analyse ; comme cette deuxième réaction est exothermique, on peut penser que le froid agit en modifiant l'équilibre dans ce sens et favorise le catabolisme déclenchant la germination, alors qu'à la température de 20 °C, se poursuivent dans le grain des processus de synthèse.

La cystéamine favorise donc la germination des grains qui n'ont pas atteint leur maturité physiologique et son action peut se superposer à celle du froid.

2. Action toxique

L'action toxique de la cystéamine sur le grain d'orge s'extériorise de deux façons différentes : elle diminue le pouvoir germinatif et elle retarde la croissance des plantules.

La chute du pouvoir germinatif apparaît pour des concentrations différentes de cystéamine selon la composition physico-chimique du grain.

En 1954, pour la variété Herta, la diminution ne se marque qu'à partir de 6 % :

Milieux	Pouvoirs germinatifs
Cystéamine 6 %	88,8 %
Cystéamine 8 %	64,8

Pour l'orge Piroline récoltée en 1955, le pouvoir germinatif diminue à partir de 2 % de cystéamine ; cependant le phénomène est totalement différent selon que la cystéamine est neutralisée ou non (pH 7,5 pour la concentration de 10 %).

Le témoin, dont la germination débute sur eau, germe à 98 %. Pour les autres traitements — 100 grains pour chacun — après trempage de 24 heures sur les diverses concentrations de cystéamine, les grains sont

placés sur sable imbibé d'eau pour poursuivre leur germination : celle-ci a donné les chiffres suivants :

Concentrations de cystéamine	Cystéamine non neutralisée	Cystéamine neutralisée
	Pouvoirs germinatifs	
0,10	99	93
0,25	95	96
0,50	99	95
1,00	97	93
2,00	91	89
4,00	82	85
6,00	20	78
8,00	0	74

L'action de la cystéamine à haute concentration peut varier selon la composition du grain d'orge ; deux autres lots de la même variété ont réagi différemment à la cystéamine à concentration de 9 ‰ :

	Eau	Cystéamine non neutralisée	Cystéamine neutralisée
	Pouvoirs germinatifs		
2^me^ échantillon	99	0	88
3^me^ échantillon	93	12	46

La différence de germination constatée entre cystéamine neutralisée et non neutralisée n'est pas due au pH seul ; sur le 3^me^ échantillon, on a étudié l'action des milieux de SÖRENSEN (KH_2PO_4 + Na2HPO4) à pH 7,5 et 7. Des lots de 200 grains placés durant 24 heures, au début de leur germination sur ces solutions n'ont subi aucune diminution de leur capacité germinative :

Milieux	Eau	Sörensen pH 7,5	Sörensen pH 7
Pouvoirs germinatifs	93 %	94 %	95 %

On doit donc conclure à une modification de l'action toxique de la cystéamine en relation avec le pH.

L'action toxique qui se manifeste par un ralentissement de la croissance apparaît à des concentrations plus faibles de cystéamine. Elle est mise en évidence au moyen du test de croissance qui a été utilisé au cours des recherches antérieures (8). Celui-ci consiste essentiellement à faire croître les plantules d'orge à 20 °C, sous éclairage continu par tubes fluorescents Phytor ; pour chaque traitement, on mesure la première feuille de cinquante (ou multiple de cinquante) plantes lorsque le témoin atteint environ 75 mm. Si le traitement diminue simultanément le pouvoir germinatif, les grains non germés ne sont pas pris en considération pour le calcul du test de croissance.

Le test de croissance a été exécuté sur les grains d'orge Piroline de la récolte 1955 dont les pouvoirs germinatifs sont donnés ci-dessus :

Milieux	Cystéamine non neutralisée	Cystéamine neutralisée
	Test de croissance	
Eau	76,70 ± 1,09 mm	76,70 ± 1,09 mm
Cystéamine 0,10 % .	70,91 ± 0,78 mm	68,18 ± 1,29 mm
Cystéamine 0,25 % .	65,23 ± 0,85 mm	62,69 ± 1,02 mm
Cystéamine 0,50 % .	60,76 ± 0,89 mm	56,83 ± 0,88 mm
Cystéamine 1,00 % .	56,10 ± 0,85 mm	53,37 ± 1,02 mm
Cystéamine 2,00 % .	50,12 ± 0,93 mm	45,28 ± 1,16 mm
Cystéamine 4,00 % .	39,68 ± 0,96 mm	40,89 ± 0,92 mm
Cystéamine 6,00 % .	34,15 ± 1,35 mm	36,43 ± 0,96 mm
Cystéamine 8,00 % .		32,95 ± 0,72 mm

La diminution de croissance n'est pas proportionnelle à la concentration ; elle est beaucoup plus marquée au début de la gamme de concentrations. Dans la première partie de celle-ci l'action toxique est légèrement plus accentuée lorsque la cystéamine est neutralisée ; à partir de 4 %, on observe le phénomène inverse.

A la concentration de 6 %, les plantes survivantes ont approximativement le même développement en présence de cystéamine non neutralisée (avec 20 % de germination) qu'en présence de cystéamine neutralisée (avec 78 % de germination).

Dans certains cas, on peut constater simultanément deux actions qui semblent s'exercer dans des sens différents : chez des grains dormants la cystéamine augmente le pouvoir germinatif et, en même temps, diminue la croissance des plantules qui ont germé.

De telles observations permettent d'affirmer que la modification de la croissance et la variation du pouvoir germinatif sont deux phénomènes

distincts et pour cette raison, il est nécessaire de déterminer séparément le pouvoir germinatif et le test de croissance.

3. Action sur la radiosensibilité

Chez l'orge, la cystéamine est nettement radioprotectrice lorsque la germination débute à 20 °C durant 24 heures sur des solutions de β mercaptoéthylamine avant l'irradiation (9) :

Concentrations de cystéamine	Doses de rayons X en r				
	0 r	2.000 r	3.000 r	4.000 r	5.000 r
	Test de croissance en mm				
0 %	80,64 ± 1,41	43,45 ± 2,34	24,23 ± 1,51	21,26 ± 1,42	13,30 ± 0,39
1	73,93 ± 1,48	54,20 ± 1,56	33,88 ± 1,63	26,79 ± 1,56	15,56 ± 1,66
2 %	66,15 ± 1,38	61,32 ± 1,01	51,08 ± 1,69	34,52 ± 1,92	24,15 ± 1,24
4 %	61,89 ± 1,84	64,88 ± 1,57	60,72 ± 2,31	57,04 ± 1,76	43,08 ± 3,48

Le test de croissance montre que la cystéamine exerce une action radioprotectrice d'autant plus marquée que la concentration est élevée. Pour anihiler l'action du rayonnement, il faut utiliser une concentration plus élevée lorsque l'intensité de l'irradiation s'accroît : 2 % pour 2.000 r ; 4 % pour 3.000 r ; environ 5 % pour 4.000 r. Il ne semble pas que ce phénomène puisse s'expliquer uniquement par l'action antimitotique de la cystéamine puisque la radioprotection ne suit pas la même courbe pour les diverses doses de rayons X.

Les résultats exprimés par le test de croissance concordent avec les semis effectués en pleine terre : le nombre de plantes qui survivent à une irradiation donnée est beaucoup plus élevé lorsque les grains sont prégermés durant 24 heures dans une solution de cystéamine. En 1955, on a relevé pour la variété Piroline les chiffres suivants :

Avant irradiation, germination sur :	Doses de rayons X	Nombres de grains irradiés	Grains germés	Taux de germination
Eau	2.000 r	1.000	59	5,9 %
Cystéamine 4 % . .	2.000 r	500	210	42,0 %
Eau	3.000 r	1.000	14	1,4 %
Cystéamine 4 % . .	3.000 r	500	197	39,4 %

Lorsque la cystéamine est appliquée après l'irradiation, elle ne diminue aucunement l'action toxique du rayonnement dans la plupart

des cas. Cependant des grains d'orge Herta de la récolte 1954 qui accusaient une certaine dormance ont réagi positivement à l'adjonction de cystéamine durant une période de 24 heures après irradiation :

Concentrations de cystéamine	Doses de rayons X en r				
	0 r	15.000 r	20.000 r	25.000 r	30.000 r
	Test de croissance en mm				
0 %	86,10 ± 2,99	47,93 ± 2,22	27,97 ± 1,39	26,21 ± 2,16	16,91 ± 0,75
1 %	83,71 ± 1,42	52,46 ± 2,32	45,57 ± 2,00	36,17 ± 2,49	17,44 ± 1,68
2 %	74,76 ± 2,16	43,08 ± 2,13	27,94 ± 1,48	21,88 ± 1,29	18,32 ± 0,71

L'action constatée peut être assimilée à celle que Bacq et Herve (5) ont observée chez les cancéreux et autres malades irradiés localement : chez ces individus la cystéamine exerce une action favorable sur le mal des rayons même quand cette substance est administrée après l'irradiation.

4. Action sur la mutabilité

L'influence de la β mercaptoéthylamine sur la mutagénèse a déjà été étudiée par Kaplan et Lyon (7), chez la souris et la drosophile. Ces chercheurs ont démontré que la cystéamine injectée avant l'irradiation ne protège pas ces organismes contre l'action mutagénique des rayons X. Ce problème a été analysé chez l'orge. Dans une première série d'essais sur la variété Piroline, la cystéamine a été appliquée avant l'irradiation. Au cours du deuxième cycle végétatif après traitement, on observa que les taux de mutants chlorophylliens étaient plus élevés en présence de cystéamine :

Numéros des traitements	Traitements		Nombres de descendances F 2		Taux de mutation
	Prétrempage de 24 h. sur :	Doses de rayons X	observées	avec mutations	
Xd 151 .	eau	0 r	55	0	0
Xd 152 .	cystéamine 4 %	0 r	42	2	47,6 ‰
Xd 153 .	eau	2.000 r	59	7	118,6 ‰
Xd 154 .	cystéamine 4 %	2.000 r	210	32	152,3 ‰
Xd 155 .	eau	3.000 r	14	1	71,4 ‰
Xd 156 .	cystéamine 4 %	3.000 r	197	31	157,3 ‰

Le taux de mutation après 24 heures de germination sur eau (Xd 153, Xd 155) est de 109,5 ‰ ; après 24 heures de germination sur cystéamine (Xd 154, Xd 156), il atteint 154,7 ‰.

Dans une deuxième série d'essais dont la première génération fut semée vingt jours plus tard que l'expérience précédente, la cystéamine a été appliquée après l'irradiation ; on constate également, dans ce cas, un accroissement du taux de mutation en présence de cystéamine :

Numéros des traitements	Traitements		Nombres de descendances F2		Taux de mutation
	Doses de rayons X	Post-trempage de 24 h sur :	observées	avec mutations	
Xd 224	0 r	eau	134	2	14,9 ‰
Xd 225	0 r	cystéamine 1 %	135	0	0
Xd 226	5.000 r	eau	399	12	30,0 ‰
Xd 227	5.000 r	cystéamine 1 %	425	26	61,1 ‰
Xd 228	10.000 r	eau	386	34	88,0 ‰
Xd 229	10.000 r	cystéamine 1 %	411	56	136,2 ‰
Xd 230	15.000 r	eau	166	25	150,6 ‰
Xd 231	15.000 r	cystéamine 1 %	264	41	153,3 ‰
Xd 232	20.000 r	eau	17	0	0
Xd 233	20.000 r	cystéamine 1 %	17	3	176,4 ‰

Le taux de mutation est en moyenne de 73,3 ‰ lorsque, après irradiation, les grains d'orge commencent leur germination sur sable imbibé d'eau (Xd 226, Xd 228, Xd 230, Xd 232) : ce taux monte à 112,6 ‰ lorsque après irradiation les grains sont placés durant 24 heures sur sable imbibé de cystéamine à 1 % (Xd 227, Xd 229, Xd 231, Xd 233).

Quand on analyse ces données, on constate, en premier lieu, que la cystéamine n'a aucune activité mutagénique propre : pour les deux séries d'essais, on relève dans le témoin, 2 mutations pour 189 descendances soit 10,6 ‰ et, pour les grains dont la germination débute en présence de cystéamine, 2 mutations pour 177 descendances soit 11,3 ‰.

On note ensuite que la cystéamine accroît le taux des mutations induites par les rayons X qu'elle soit appliquée avant ou après l'irradiation ; l'ordre de grandeur est le même dans les deux éventualités. En moyenne, on obtient les taux de mutations suivants :

En l'absence de cystéamine :

75,8 ‰ (limites pour P = 0,05 : 59,8— 91,9 ‰),

En présence de cystéamine :

124,0 ‰ (limites pour P = 0,05 : 108,5—140,5 ‰.

Il semble logique de supposer que ce phénomène est dû à une cause qui provient de la cystéamine uniquement et non du rapport existant entre le moment d'application de cette substance et l'instant de l'irradiation. On peut proposer comme hypothèse qu'au cours de la sélection intrasomatique (6) qui s'établit au début de la croissance dans les plantes irradiées, les cellules porteuses de mutations sont éliminées en moindre proportion en présence de cystéamine.

RESUME

Les recherches effectuées démontrent que, chez l'orge, la cystéamine exerce son action dans quatre domaines différents : 1) elle supprime partiellement la dormance ; 2) elle présente une toxicité qui, selon la concentration, retarde la croissance des plantules ou diminue le taux de germination ; 3) elle protège les grains d'orge contre l'action toxique des rayons X quand elle est présente avant l'irradiation ; 4) elle accroît le taux de mutation quand elle est appliquée avant ou après l'irradiation.

*
**

Il nous est agréable de remercier le Fonds National de la Recherche Scientifique qui a subsidié ces recherches par des « Crédits aux Chercheurs ».

BIBLIOGRAPHIE

(1) ALEXANDER, P., CHARLESBY, A., ROSS, J. 1954 : The degradation of solid polymethylmethacrylate by ionizing radiation. *Proc. Roy. Soc.* **223 A,** 392.
(2) BACQ, Z. M., HERVE, A., LECOMTE, J., FISCHER, P., BLAVIER, J., DECHAMPS, G., LE BIHAN, H., RAYET, P. 1951 : Protection contre le rayonnement X par la β mercaptoéthylamine. *Arch. Internat. Physiol.* **59,** 442.
(3) CROCKER, W., BARTON, L. 1953 : Physiology of Seeds, Waltham, Mass.
(4) HARRINGTON, G. T. 1923 : Forcing the germination of freshly harvested wheat and other cereals. *J. Agr. Res.* **23,** 79.
(5) HERVE, A., BACQ, Z. M. 1952 : Protection chimique contre le rayonnement X. *Journ. Radiol. Electrol.* **33,** 651.
(6) KAPLAN, R. W. 1951 : Chromosomen und Faktormutationen in Gerstenkörnen. *Zschr, f, ind. Abst.- u. Vererb.-lehre* **83,** 347.
(7) KAPLAN, W. D., LYON, M. F. 1953 : Failure of mercaptoethylamine to protect against the mutagenic effects of radiation. *Science* **118,** 776.
(8) MOËS, A., 1951 : Rapport au F. N. R. S.
(9) MOËS, A., 1955 : Rapport au F. N. R. S.
(10) PROKOSHEV, S. M., BABICHEV, I. A. 1936 : La spécificité des protéases dans les semences et les bourgeons des plantes. *Bull. Appl. Botany* - Série III, **14,** 79,
(11) ROMANO, E. 1948 : Sul potere reducente durante la formazione e la germinazione della cariosside di frumento. *Annali della esperimentazione agraria* **II,** n. 1.
(12) STEVENS, W. L. 1949 : dans Fisher et Yates. Statistical Tables. London.
(13) THOMPSON, R. C., HORN, N. L. 1944 : Germination of lettuce seed at high temperature stimulated by thiouree. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **45,** 431.

STATION DE RECHERCHES, DE L'ETAT, POUR L'AMELIORATION DES PLANTES DE GRANDE CULTURE, A GEMBLOUX

Mutants progressifs chez l'orge

par

A. MOËS (*)

La notion de mutant progressif peut être définie en fonction de l'évolution ou de l'amélioration.

Dans le premier cas, il est possible de se livrer à de multiples expériences et spéculations sur la valeur évolutive d'un génotype nouveau en le plaçant dans des milieux très divers, seul ou en compétition avec d'autres lignées de la même espèce ou avec des espèces différentes.

Dans le second cas, on se trace des limites plus strictes. Chez l'orge de printemps, on peut classer dans cette catégorie, des mutations qui accroissent la résistance aux maladies, la résistance à la sécheresse, la résistance à la verse, la précocité, le rendement quantitatif et qualitatif, *à condition que l'amélioration d'une caractéristique ne soit pas accompagnée par la détérioration d'un autre caractère.*

Ainsi, on ne peut qualifier de progressif un mutant dont la résistance accrue à la verse va de pair avec la stérilité de l'épi car ce phénotype correspond toujours à une chute significative de la capacité de production.

Il faut cependant remarquer que la notion de mutant progressif est relative ; elle peut varier avec l'espèce mais aussi avec le milieu : un mutant plus précoce peut être moins productif que la variété originale sous notre climat et plus productif dans des régions plus septentrionales.

Les opinions qui ont été émises sur la valeur pratique des mutations induites par les rayons X n'ont, de prime abord, pas été favorables.

STADLER qui, le premier, utilisa cet agent physique pour modifier le patrimoine héréditaire de l'orge (4) ne plaçait pas beaucoup d'espoir en cette méthode (5). Il lui semblait que les mutations naturelles appa-

(*) Associé du Fonds National de la Recherche Scientifique.

rues au cours des temps étaient beaucoup plus nombreuses que celles qu'on pouvait produire artificiellement et il pensait qu'il était impossible de créer par irradiation des génotypes qui n'existaient pas encore dans les collections. Il estimait qu'on ne trouverait parmi les mutations artificielles qu'une faible proportion de modifications favorables qui seraient accompagnées, dans la plupart des cas, de mutations défavorables induites simultanément. Le résultat de l'irradiation serait donc une plante hétérozygote pour plusieurs paires de gènes. Il estimait qu'on obtiendrait un hétérozygote plus prometteur en effectuant une hybridation bien dirigée.

Les vues de STADLER étaient donc pessimistes et, en partie, inexactes puisque les recherches ultérieures ont prouvé que les organismes mutés ne sont, le plus souvent, porteurs que d'une seule mutation monofactorielle.

En 1935, TIMOFEEFF-RESSOVSKY (6) démontrait expérimentalement qu'il était possible d'induire chez la drosophile des « mutations de vitalité » au moyen de traitements par rayons X. Dans les descendances C1B, la compétition entre mâles et femelles qui ont la même vitalité détermine un équilibre 1 ♂ : 2 ♀ ; quand une mutation liée au sexe diminue la vitalité des mâles, le rapport est < 1 ♂ : 2 ♀ ; TIMOFEEFF-RESSOVSKY établit que de nombreuses mutations liées au sexe correspondaient à cette formule mais il trouva également des mutations qui accroissaient la vitalité et qui atteignaient un équilibre > 1 ♂ : 2 ♀

En 1941, GUSTAFSSON (2) arrivait à des conclusions identiques au sujet de l'orge en se basant sur des recherches qu'il poursuivait depuis 1937 : « Maintenant, il est définitivement démontré qu'une lignée pure peut être modifiée de diverses façons au moyen de rayons X et que l'on crée ainsi un vaste champ de possibilités pour l'amélioration des plantes. Il n'y a pas de raison d'admettre plus longtemps le scepticisme manifesté par STADLER en 1930 ».

Chez l'orge, une expérimentation poursuivie à grande échelle montre cependant que les mutants défavorables constituent une majorité. Ceci est dû, en partie, au fait que les orges cultivées ne représentent pas la moyenne des génotypes possibles pour cette espèce mais que, chez elles, de nombreux loci sont occupés par l'allèle correspondant au caractère le plus favorable. Quand on examine, par exemple, les nombreuses mutations régressives qui affectent la grandeur, la forme de l'épi et de ses constituants : rachis, caryopse, glumes, glumelles, barbes, on se rend compte que les variétés cultivées doivent être l'aboutissement d'une sélection poursuivie depuis très longtemps.

Cependant les meilleures races d'orges actuelles sont encore susceptibles d'amélioration ; pour atteindre des résultats pratiques dans les recherches de mutagénèse, il est indispensable de partir d'une lignée pure de haute productivité et de travailler sur un matériel végétal très étendu.

Dans nos travaux, l'orge de printemps Piroline (de la firme HEINE à SCHNEGA, Allemagne) a été choisie parce qu'elle produit les rendements en grain les plus élevés dans la zone limoneuse ainsi que le démontrent les essais effectués à Gembloux de 1951 à 1956 :

	Variétés	
	Rendements moyens de 1951 à 1956	
	en kg/ha	en %
Kenia	3616 ± 65	88,38 ± 1,58
Balder	3811 ± 65	93,15 ± 1,58
Herta	4091 ± 65	100,00 ± 1,58
Piroline	4275 ± 65	104,19 ± 1,58

Piroline résiste aux biotypes précoces d'oïdium (Erysibe graminis) et forme un grain légèrement plus gros que celui des autres variétés cultivées. Son principal défaut réside dans sa sensibilité à la verse qui la classe, pour cette caractéristique, en dessous des variétés Kenia, Balder et Herta.

Les irradiations sont effectuées sur des lots de 50 grains ; chaque lot est constitué de semences récoltées sur une seule plante : les diverses descendances sont toujours semées séparément.

Au cours des recherches poursuivies, on n'a observé en dehors des mutants chlorophylliens du stade plantule, que deux mutations naturelles : un type non pruineux et une lignée à stérilité partielle.

En 1956, 35 mutants induits par rayons X ont été étudiés dans des essais de comportement et de rendement établis selon la méthode des blocs, avec 4 répétitions par lignée ; ils étaient répartis en trois groupes comprenant respectivement 12, 12, 11 mutants auxquels correspondaient les trois témoins Piroline 1, 2 et 3. Le semis a été effectué le 30 mars, à la densité de 300 grains par mètre carré.

Parmi les nouveaux génotypes, 19 ont une productivité significativement inférieure à celle de Piroline, 9 ont une productivité identique mais ne se distinguent par aucune propriété intéressante et 7 peuvent être classés dans la catégorie des mutants progressifs.

Les caractéristiques de ces derniers sont réunies dans les tableaux suivants :

Intensité de la coloration : ce caractère a été coté le 25 mai, en suivant une échelle qui va de 0 pour une couleur jaune à 10 pour un ton vert-bleu foncé ; il existe entre l'intensité de la coloration après le tallage et la résistance de l'orge à la sécheresse une corrélation positive. Xb 381.244 et Xb 382.62 se distinguent nettement de Piroline pour cette caractéristique.

Résistance à la verse : cette propriété a été observée en fin de végétation en adoptant une échelle qui part de 0 pour un manque total

	Intensité de la coloration	Résistance à la verse	Longueur d'un article du rachis en mm	Hauteur de paille en cm	Dates	
					d'épiaison	de maturité
Piroline 1	6	7,0	2.865 ± 0,018	88	14/6	9/8
Xb 380.80	6	8,0	2,840 ± 0,019	90	14/6	9/8
Xb 381.244	8	6,0	2,546 ± 0,014	92	19/6	10/8
Xb 382.62	8	8,2	2,796 ± 0,021	88	15/6	10/8
Piroline 3	6	7,0	2,823 ± 0,015	88	14/6	9/8
Xb 387.44	6	8,0	2,826 ± 0,017	92	13/6	9/8
Xb 387.288	7	8,4	1,721 ± 0,015	83	14/6	8/8
Xb 388.291	6,5	7,0	2,903 ± 0,028	92	13/6	9/8
Xb 390.348	6	6,6	2,674 ± 0,014	86	16/6	9/8

	Rendement en kg/ha	Rendement en %	Nombre d'épis/ m^2	Poids de 1,000 grains	Poids de grains/ épi	Nombre de grains/ épi
Piroline 1	3617 ± 96	100,00 ± 2,65	614 ± 18	33,98 g	589 mg	17,33
Xb 380.80	3415 ± 96	94,41 ± 2,65	561 ± 18	33,61	608	18,11
Xb 381.244	3850 ± 96	106,44 ± 2,65	636 ± 18	34,36	605	17,61
Xb 382.62	3622 ± 96	100,13 ± 2,65	557 ± 18	34,33	650	18,93
Piroline 3	3388 ± 90	100,00 ± 2,65	591 ± 17	34,67 g	573 mg	16,53
Xb 387.44	3622 ± 90	106,90 ± 2,65	585 ± 17	36,15	619	17,12
Xb 387.288	3460 ± 90	102,12 ± 2,65	592 ± 17	32,01	584	17,63
Xb 388.291	3516 ± 90	103,77 ± 2,65	588 ± 17	37,14	597	16,09
Xb 390.348	3650 ± 90	107,73 ± 2,65	647 ± 17	35,48	564	15,89

de résistance à la verse, pour atteindre la cote 10 qui correspond à l'absence absolue de verse ; une différence entre deux cotations supérieure à 0,5 unité peut être considérée comme significative.

La résistance à la verse se présente chez les mutants à épi compact, tel est le cas pour Xb 387.288. Il est cependant douteux que de telles lignées puissent avoir une valeur pratique parce que le séchage naturel du grain peut être difficile lors des étés pluvieux et que leur grain est souvent de grosseur irrégulière.

Les mutants Xb 380.80, Xb 382.62, Xb 387.44 sont beaucoup plus intéressants parce qu'ils possèdent une meilleure résistance à la verse alors que la densité de leur épi demeure inchangée. Il n'est pas possible, cette année, de classer nettement ces nouvelles lignées par rapport à Herta parce que cette variété qui ordinairement a une paille plus rigide que Piroline, ne lui était pas supérieure en 1956 pour ce caractère.

Les données montrent la complexité du problème puisque deux mutants : Xb 380.80 et Xb 382.62 présentent simultanément une amélioration de la résistance à la verse et une diminution du tallage alors que le tallage de Xb 387.44 n'est pas diminué.

Compacité de l'épi : la compacité de l'épi est exprimée par la longueur moyenne d'un article du rachis ; celle-ci est obtenue en divisant la longueur totale de l'épi par le nombre d'articles du rachis : pour chaque lignée, cette mensuration est effectuée sur 50 épis. Parmi les mutants intéressants, trois types de compacité se présentent : le type normal, un type légèrement plus compact (Xb 381.244, Xb 390.348) et un type compact (Xb 387.288).

Hauteur de la paille : les mutants qui figurent dans les tableaux précédents, diffèrent peu de Piroline en ce qui concerne la hauteur de la paille : seul le type compact est nettement plus court que la lignée originale. Parmi les 9 autres mutants qui ont une productivité identique à celle du témoin, on observe des écarts nettement plus élevés allant de — 15 à + 5 cm.

Dates d'épiaison et de maturité : les écarts présentés par les mutants intéressants sont peu marqués, surtout à la maturité ; ceci est dû en partie, au fait qu'une période pluvieuse et froide a précédé la maturité et que celle-ci s'est accomplie rapidement lorsque la température s'est réchauffée. Il est possible qu'en année normale, les maturités soient échelonnées sur une période plus longue.

Les facteurs primaires de rendement : les mutations peuvent modifier radicalement les facteurs primaires de rendement : nombre d'épis par mètre carré, grosseur des grains, nombre de grains par épi.

Le tallage peut être réduit ou accru sans que le rendement soit modifié. Les deux extrêmes sont constitués par Xb 382.62 qui figure dans les tableaux précédents et Xb 384.143 dont les caractéristiques, comparées à celles de son témoin, sont les suivantes :

Lignée	Rendement en kg/ha	Rendement en %	Epis/ m^2	Poids de 1.000 grains	Poids de grains/ épi	Nombre de grains par épi
Piroline 2	3620 ± 70	100,00 ± 1,93	596 ± 22	33,58 g	607 mg	18,07
Xb 384.143	3680 ± 70	101,65 ± 1,93	683 ± 22	32,07 g	538 mg	16,77

Les compensations qui aboutissent à un rendement identique s'exercent au niveau des autres facteurs de rendement et ressortent nettement quand on exprime les divers chiffres en % de Piroline :

Lignée	Tallage	Grosseur du grain	Nombre de grains par épi
Xb 382.62	90,71 %	101,03 %	109,23 %
Piroline	100,00 %	100,00 %	100,00 %
Xb 384.143	114,59 %	95,50 %	92,80 %

Lorsque la capacité de tallage est réduite, la compensation est déterminée par une légère augmentation de la grosseur des grains et par un accroissement plus important de nombre de grains par épi.

Lorsque le tallage est accru, la compensation résulte d'une diminution assez nette de la grosseur du grain et d'une réduction marquée du nombre de grains par épi.

Des rendements identiques peuvent ainsi résulter de structures absolument différentes.

L'accroissement de la capacité de tallage n'est pas toujours corrélative d'une diminution de la grosseur du grain : Xb 390.348 dont le tallage est significativement supérieur à celui de Piroline possède un grain légèrement plus gros que la lignée originale.

Certains mutants : Xb 387.44, Xb 388.291 ont un grain nettement plus gros ; l'essai de triage sur tamis de 2,8 ; 2,5 et 2,2 mm, montre que la fraction de grains dont le calibre est supérieur à 2,8 mm, est nettement plus élevée chez ces mutants que chez Piroline :

	Grains de + de 2,8 mm	Grains de 2,5 à 2,8 mm	Grains de 2,2 à 2,5 mm	Grains de — de 2,2 mm
Piroline	12,60 %	47,36 %	25,80 %	14,22 %
Xb 387.44	35,69 %	41,36 %	13,45 %	9,47 %
Xb 388.291	33,27 %	42,73 %	14,94 %	9,04 %

Ces types nouveaux revêtent, de ce fait, un intérêt supplémentaire.

Productivité : trois mutants ont une productivité plus élevée que Piroline mais qui se situe près de la limite de signification pour $P = 0,05$: Xb 381.244, Xb 387.44, Xb 390.348 ; il sera nécessaire de préciser leur capacité de production par des essais effectués avec un

nombre plus élevé de répétitions afin d'accroître la précision des mesures.

Xb 381.244 ne répond pas exactement à la définition de mutant progressif puisque sa résistance à la verse est inférieure à celle de Piroline : ce type a été signalé parce qu'il atteint le rendement absolu le plus élevé.

Xb 387.44 paraît être le plus intéressant puisqu'il réunit une bonne productivité, une bonne résistance à la verse et un grain plus gros.

*
**

Les données précédentes se rapportent donc uniquement aux mutants qui marquent un progrès pour l'un ou l'autre caractère. Les indications fournies par tous les mutants qui figurent dans l'essai prouvent qu'en réalité, chacune des propriétés étudiées peut être modifiée dans un sens positif et dans un sens négatif :

Caractères	Cotes de Piroline	Cotes des mutants	
		Cote inférieure	Cote supérieure
Coloration . . .	6	4	8
Résistance à la verse . . .	7,0	3,2	9,0
Hauteur de paille	88 cm	73 cm	93 cm
Date d'épiaison .	14 juin	5 juin	22 juin
Date de maturité	9 août	6 août	10 août
Densité de l'épi .	2,818 - 2,865 mm	1,721 ± 0,015 mm	3,261 ± 0,044 mm
Tallage . . .	591 - 614 épis/m²	557 ± 18 épis/m²	683 ± 22 épis/m²
Poids de 1.000 grains . . .	33,58 - 34,67 gr	29,41 g	37,14 g
Nombre de grains par épi . . .	16,53 - 18,08	15,08	18,93
Poids de grains par épi . . .	573 - 607 mg	530 mg	650 mg

Pour les facteurs primaires de rendement, la comparaison a été limitée aux mutants qui ont une capacité de production identique à celle de Piroline.

Les cotes inférieures et supérieures constituent les limites d'une gamme qui comprend de nombreux intermédiaires ; ainsi le tallage des divers mutants se situe aux niveaux suivants :
557±18, 561±18, 578±17, 585±17, 586±18, 588±17, 592±17, 604±22, 630±18, 634±18, 636±18, 647±17, 654±22, 666±22, 683±22 épis par mètre carré.

On constate par cet exemple qu'un caractère physiologique dont le mécanisme héréditaire a toujours été considéré comme très complexe

peut être modifié à des degrés divers dans l'un et l'autre sens, par des mutations dont la plupart sont vraisemblablement monofactorielles.

La comparaison de mutants provenant d'une même lignée pure constitue une méthode efficace pour l'analyse de caractères héréditaires qui sont l'objet d'une variabilité fluctuante de grande amplitude.

Cette étude montre aussi que la mutation d'un gène a souvent des répercussions sur l'expression phénotypique de nombreux caractères ; la pleiotropie est donc un phénomène fréquent.

RESUME

35 mutants induits au moyen de rayons X dans la variété d'orge de printemps Piroline ont été analysés dans un essai de comportement et de rendement établi selon la méthode des blocs.

Les observations ont porté sur les caractères suivants : coloration des plantes après le tallage, résistance à la verse, hauteur de la paille, date d'épiaison, date de maturité, densité de l'épi, tallage, grosseur du grain, nombre de grains par épi.

Les résultats obtenus au cours de cette recherche démontrent que tous ces caractères peuvent être modifiés par mutation dans un sens positif et négatif, à des degrés divers.

Certains mutants peuvent être considérés comme étant progressifs pour un ou plusieurs des caractères considérés.

*
**

Les présentes recherches ont été subsidées, en partie, par le Fonds National de la Recherche Scientifique que je remercie pour les « Crédits aux Chercheurs » accordés.

BIBLIOGRAPHIE

(1) FREISLEBEN, R., LEIN, A. 1943 : Möglichkeiten und praktische Durchführung der Mutationzüchtung - *Kühn Archiv* **60,** pp. 211-225.
(2) GUSTAFSSON, A. 1941 : Preliminary yield experiments with ten induced mutations in barley - *Hereditas* **27,** pp. 336-359.
(3) MULLER, H. J. 1927 : Artificial transmutation of the gene - *Science* **66,** pp. 84-87.
(4) STADLER, L. J. 1928 : Mutations in barley induced by X-rays and radium - *Science* **68,** pp. 186-187.
(5) STADLER, L. J. 1930 : Some genetic effects of X-rays in plants - *Jl of Heredity* **21,** pp. 3-19.
(6) TIMOFEEFF-RESSOVSKY, N. W. 1935 : Auslösung von Vitalitätsmutationen durch Röntgenbestrahlung bei Drosophila melanogaster - *Nachr. Ges. Wiss. Götingen, Biol.* Ser. N F 1.

CHAIRE DE TECHNOLOGIE FORESTIERE
LABORATOIRE DES PATES A PAPIER

Variation de la longueur des trachéides et de l'épaisseur de leurs parois chez quelques résineux (*)

par

A. MOTTET et J. QUOILIN

I. INTRODUCTION

Les propriétés physiques et mécaniques du papier kraft non blanchi varient fortement avec la matière première utilisée. Aussi, nous avons été amenés à rechercher les causes de ces fluctuations dans la structure des trachéides.

Nous avons ainsi effectué quantité d'observations et les avons étendues à une gamme de résineux. Au point de vue des longueurs, 83.000 trachéides ont été mesurées.

Cette étude comprend quatre parties :

a) Mesures de longueurs de trachéides, portant sur des échantillons globaux.

b) Etude de la variation des longueurs de trachéides avec l'âge et le diamètre des rondins.

c) Etude de la variation des longueurs de trachéides au sein de deux tiges complètes (Pin noir d'Autriche et Mélèze du Japon).

d) Etude de la variation de l'épaisseur des parois, diamètre extérieur, diamètre du lumen des trachéides sur coupes microscopiques.

II. MATERIEL ET METHODES DE TRAVAIL

La mesure de la longueur moyenne des trachéides a été effectuée comme suit. Au moyen d'un ciseau de menuisier, nous avons réduit le

(*) Déposé à la rédaction le 4 décembre 1956.

bois en menus fragments. Ceux-ci ont été traités par du phénol légèrement acidifié par HCl, à la température de 100 °C, pendant une dizaine de minutes. Cette méthode présente le grand avantage d'être extrêmement rapide. Les fibres obtenues sont relativement fragiles, aussi est-il nécessaire de les ménager au cours des manipulations. Nous avons utilisé également le traitement à la triéthanolamine. Avec cette dernière, un traitement à 250 °C pendant une heure est nécessaire pour obtenir une bonne délignification. Les fibres obtenues sont toutefois plus robustes et plus résistantes.

Pour chaque échantillon étudié, nous avons mesuré 300 fibres de la manière suivante. Après coloration soit au réactif de Herzberg, soit à la safranine, les préparations ont été projetées sur feuille de papier blanc au moyen du microscope Leitz. Les fibres ont été tracées au crayon et mesurées au moyen d'un curvimètre.

En ce qui concerne les mesures d'épaisseur des parois et diamètres sur coupes microscopiques, nous avons utilisé un oculaire micrométrique.

III. RESULTATS DES MESURES

a. Mesures de longueurs de trachéides portant sur des échantillons globaux

Le tableau I synthétise les résultats pour une série de rondins. Les moyennes ont été établies sur des échantillons prélevés suivant un rayon. Ces échantillons globaux n'ont qu'un intérêt relatif, car ils ne font pas ressortir l'accroissement en longueur des trachéides avec l'âge et le diamètre de l'arbre.

b. Etude de la variation des longueurs de trachéides avec l'âge et le diamètre des rondins

Suivant de nombreux auteurs, F. Kollmann (1), R. Trendelenburg (2), F. W. Jane (3), J. N. Stephenson (4) et d'autres, la longueur moyenne des fibres, minimum au centre du bois, augmente vers la périphérie, et tend, à un certain âge, à demeurer constante.

Nos études ont porté sur un certain nombre de rondins de papeterie, se répartissant comme suit :

5 pins sylvestres en provenance d'U.R.S.S.
5 pins sylvestres en provenance de Pologne

(1) KOLLMANN, F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, Zweite Auflage. Erster Band S. 11. München 1951.
(2) TRENDELENBURG, R. Das Holz als Rohstoff. S. 74. München 1939.
(3) JANE, F. W. The Structure of Wood. P. 191. London 1956.
(4) STEPHENSON, J.N. Pulp and Paper Manufacture. Vol. 1. P. 34. Mc Grow-Hill. 1950.

TABLEAU I

Espèces	Diam. du rondin en cm	Nombre de cernes	Nombre de fibres mesurées	Long. * moy. en mm.	σ*	Erreur standard en % de la long. moyenne
Mélèze du Japon .	21,1	17	300	2,27	0,750	1,9
Mélèze du Japon .	8,8	9	300	2,07	0,710	2,0
Mélèze du Japon .	10,1	10	300	2,08	0,830	2,2
Mélèze du Japon .	19,6	16	300	2,00	0,650	1,8
Mélèze du Japon .	20,2	17	300	1,93	0,730	2,2
Pin sylvestre d'U.R.S.S. . . .	19,6	82	300	2,38	0,930	2,2
Pin sylvestre d'U.R.S.S. . . .	20,5	123	300	2,88	0,720	1,4
Pin sylvestre d'U.R.S.S. . . .	18,3	136	300	2,57	1,000	2,2
Pin noir d'Autriche	12,7	18	300	2,29	0,800	2,0
Pin noir d'Autriche	13,2	27	300	2,36	0,880	2,2
Pin noir d'Autriche	15,3	46	300	2,18	0,804	2,1
Pin Laricio de Corse	11,4	10	300	1,76	0,660	2,1
Pin Laricio de Corse	13	26	300	1,84	0,650	2,1
Pin Laricio de Corse	9,3	18	300	2,16	0,801	2,1

* Le lecteur trouvera à la fin de l'article un exemple concret de la méthode suivie pour la détermination de la longueur moyenne, de σ ainsi que de l'erreur standard. Les résultats obtenus n'ont pas une grande signification. Il apparaît cependant que le mélèze du Japon et le pin noir d'Autriche, bien que peu âgés, présentent des fibres relativement longues. Le pin Laricio de Corse, au contraire, semble occuper une moins bonne position dans l'échelle des valeurs. Nous y reviendrons par la suite.

10 pins sylvestres en provenance de Campine (Belgique)
7 pins Laricio de Corse en provenance de Campine (Belgique)
3 pins noirs d'Autriche en provenance de Belgique
4 mélèzes du Japon en provenance des Ardennes (Belgique)
12 douglas en provenance des Ardennes (Belgique)
4 épicéas en provenance des Ardennes (Belgique).

Dans chaque rondin étudié, nous avons prélevé une rondelle. Les échantillons à mesurer ont été découpés suivant le schéma suivant :

Ces échantillons ont été désintégrés, soit au phénol acide, soit à la triéthanolamine, après quoi nous avons mesuré, pour chacun d'eux, un lot de 300 fibres ; les résultats sont traduits par une série de tableaux et et de courbes.

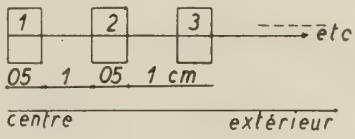


TABLEAU II

1) *Pins sylvestres d'U.R.S.S.* (Figures 1 et 2)

N° des échantillons	Distance moyenne du centre en cm	Age moyen en années	Longueur moyenne des fibres en mm	σ	Erreur standard en % de la moyenne
N° I. Diamètre : 15 cm - Nombre de cernes : 109					
1	0,25	2-3	0,93	0,073	0,4
2	1,75	10-11	1,58	0,628	2,2
4	4,75	40	2,34	0,972	2,3
6	7,75	101	2,61	0,730	2,0
N° II. Diamètre : 15,7 cm - Nombre de cernes : 70					
1	0,25	2	0,88	0,381	2,3
2	1,75	6	1,14	0,470	2,4
5	6,25	44-45	2,69	0,847	1,8
N° III. Diamètre : 15 cm - Nombre de cernes : 106					
1	0,25	3	0,93	0,269	1,6
2	1,75	10-11	1,46	0,544	2,1
4	4,75	41	2,50	0,702	1,6
6	7,75	103	2,69	0,816	1,7
N° IV. Diamètre : 19 cm - Nombre de cernes : 74					
1	0,40 (*)	2	1,48	0,450	1,7
3	2,20	8	1,74	0,660	2,2
5	4,00	18-19	2,12	0,880	2,4
7	5,80	32	2,57	0,890	2,0
9	7,60	50	2,72	0,930	2,0
11	9,40	72-73	3,02	0,850	1,6
N° V. Diamètre : 27 cm - Nombre de cernes : 193					
1	0,25	2	1,14	0,340	1,6
3	1,75	3-4	1,39	0,407	1,7
5	3,25	9	2,21	0,652	1,5
7	6,25	32-33	3,02	0,753	1,4
9	9,25	73	3,37	0,849	1,3
11	13,75	180	3,63	0,635	1,0

(*) Le schéma d'échantillonnage du n° IV est quelque peu différent des autres.

Constatations : Si nous prenons comme point de repère l'endroit où la courbe moyenne en trait plein franchit l'ordonnée de 2 mm, nous constatons que cette dimension est atteinte à l'âge approximatif de 20 ans et à une distance moyenne du centre de 3,50 cm.

TABLEAU III

2) ***Pins sylvestres de Pologne*** **(Figures 3 et 4)**

N° des échantillons	Distance moyenne du centre en cm	Age moyen en années	Longueur moyenne des fibres en mm	σ	Erreur standard en % de la moyenne
N° I. Diamètre : 20,5 cm - Nombre de cernes : 70					
1	0,25	2	1,28	0,388	1,7
2	1,75	6-7	2,05	0,575	1,6
4	4,75	18-19	2,67	0,845	1,8
6	7,75	37	2,95	0,921	2
8	10,75	66-67	3,54	0,825	1,2
N° II. Diamètre : 22 cm - Nombre de cernes : 94					
1	0,25	2-3	0,95	0,339	1,9
2	1,75	7	1,55	0,460	1,6
4	4,75	43	2,40	0,523	1,2
5	6,25	74-75	2,65	0,664	1,4
6	7,75	84	2,85	0,738	1,4
7	9,25	92-93	2,73	0,693	1,2
N° III. Diamètre : 14,6 cm - Nombre de cernes : 57					
1	0,25	3	1,38	0,445	1,8
2	1,75	8	1,82	0,572	1,8
4	4,75	34-35	2,77	0,719	1,6
5	6,25	55	2,83	0,779	1,5
N° IV. Diamètre : 13,7 cm - Nombre de cernes : 39					
1	0,25	1-2	1,14	0,372	1,8
2	1,75	4-5	1,85	0,645	2
4	4,75	14-15	2,20	0,223	0,5
7	9,25	35	2,65	0,890	1,9
N° V. Diamètre : 15 cm - Nombre de cernes : 44					
1	0,25	1	1,35	0,397	1,6
2	1,75	3-4	1,89	0,516	1,5
4	4,75	10-11	2,51	0,701	1,6
6	7,75	26	3,23	0,957	1,6

Constatations : **Les courbes moyennes atteignent la longueur de 2 mm à l'âge de 13 ans environ et à une distance du centre de 3 cm environ.**

TABLEAU IV

3) *Pins sylvestres de Campine* (Figures 5 et 6)

N° des échantillons	Distance moyenne du centre en cm	Age moyen en années	Longueur moyenne des fibres en mm	σ	Erreur standard en % de la moyenne
N° I. Diamètre : 30 cm - Nombre de cernes : 35					
1	0,25	1	1,00	0,289	1,6
3	3,25	5	1,65	0,336	1,1
5	6,25	10-11	1,99	0,468	1,3
6	7,75	12	1,99	0,539	1,6
8	10,75	22-23	2,00	0,459	1,3
9	12,25	26-27	1,82	0,625	1,9
10	13,75	30-31	2,03	0,553	1,5
11	15,25	34-35	2,15	0,616	1,6
N° II. Diamètre : 21 cm - Nombre de cernes : 28					
1	0,25	1	1,35	0,397	1,6
2	1,75	3-4	1,89	0,516	1,5
4	4,75	10-11	2,51	0,701	1,6
7	9,25	26	3,23	0,957	1,6
N° III. Diamètre : 16,3 cm - Nombre de cernes : 39					
1	0,25	2	1,33	0,342	1,0
2	1,75	6	1,63	0,549	1,9
5	6,25	22-23	1,91	0,645	1,9
7	9,25	36-37	2,58	0,684	1,5
N° IV. Diamètre : 20,7 cm - Nombre de cernes : 43					
1	0,25	3	1,20	0,352	1,6
4	4,75	17-18	2,08	0,645	1,4
7	9,25	39-40	2,86	0,862	1,7
N° V. Diamètre : 18,7 cm - Nombre de cernes : 40					
1	0,25	2-3	1,27	0,367	1,7
2	1,75	5-6	1,91	0,384	1,1
4	4,75	16	3,01	0,647	1,3
6	7,73	33	3,31	0,907	1,5
N° VI. Diamètre : 16,2 cm - Nombre de cernes : 43					
1	0,25	2	1,14	0,338	1,6
2	1,75	6	1,35	0,685	2,4
5	6,25	37	2,57	0,952	2,5
N° VII. Diamètre : 15,7 cm - Nombre de cernes : 46					
1	0,25	2	1,09	0,540	2,8
2	1,75	5-6	1,23	0,526	1,0
5	6,25	43	2,70	0,949	2,0
N° VIII. Diamètre : 16,1 cm - Nombre de cernes : 29					
1	0,25	1-2	1,07	0,379	1,9
2	1,75	5-6	1,56	0,563	2,0
5	6,25	23-24	2,78	0,856	2,1
N° IX. Diamètre : 16,4 cm - Nombre de cernes : 34					
1	0,25	1-2	1,28	0,470	2,2
2	1,75	3-4	1,74	0,730	2,4
5	6,25	24	2,37	0,814	2,0
N° X. Diamètre : 15,5 cm - Nombre de cernes : 21					
1	0,25	2	1,11	0,473	2,5
2	1,75	4-5	1,16	0,517	2,9
4	4,75	14	1,64	0,705	2,4

Constatations : **Les courbes moyennes atteignent la longueur de 2 mm à l'âge de 14 ans environ et à une distance du centre de 4 cm environ.**

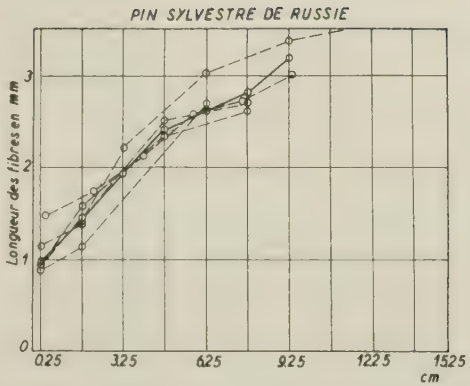


Fig. 1. — Variation de la longueur des fibres en fonction de la distance au centre

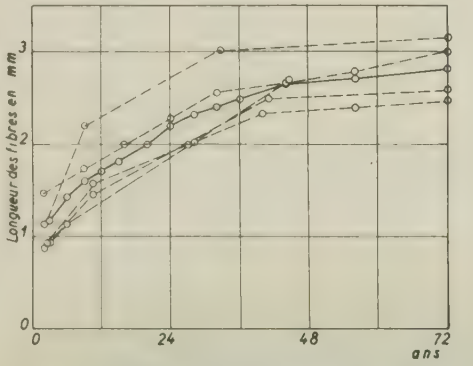


Fig. 2. — Variation de la longueur des fibres en fonction de l'âge

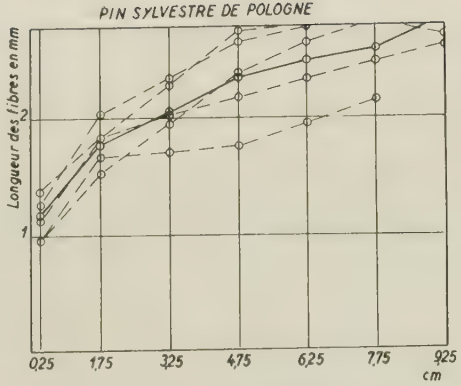


Fig. 3. — Variation de la longueur des fibres en fonction de la distance au centre

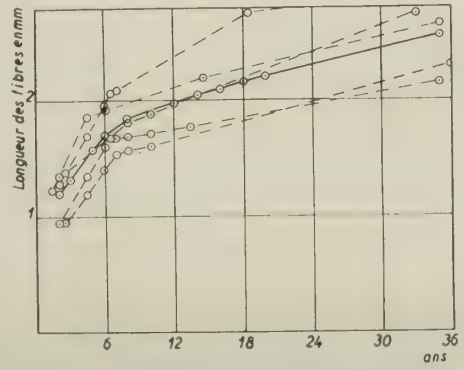


Fig. 4. — Variation de la longueur des fibres en fonction de l'âge

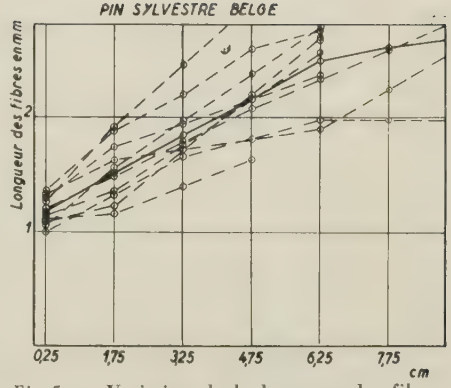


Fig. 5. — Variation de la longueur des fibres en fonction de la distance au centre

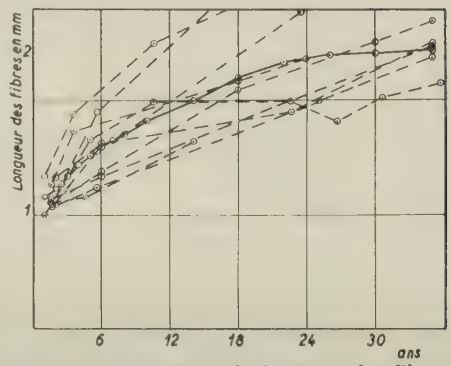


Fig. 6. — Variation de la longueur des fibres en fonction de l'âge

TABLEAU V

4) *Pins Laricio de Corse* (Figures 7 et 8)

N° des échantillons	Distance moyenne du centre en cm	Age moyen en années	Longueur moyenne des fibres en mm	σ	Erreur standard en % de la moyenne
N° II p. Diamètre : 20,6 cm - Nombre de cernes : 27					
1	0,25	4	1,18	0,281	1,2
3	3,25	11-12	1,18	0,304	1,2
4	4,75	15-16	1,36	0,330	1,2
7	9,25	24-25	1,78	0,478	1,5
N° V c. Diamètre : 22,6 cm - Nombre de cernes : 50					
1	0,25	2	0,74	0,245	1,7
2	1,75	4	0,92	0,249	1,6
4	4,75	12	1,59	0,554	2,0
5	6,25	18	1,54	0,414	1,5
8	10,75	46-47	1,95	0,454	1,3
N° I. Diamètre : 11,2 cm - Nombre de cernes : 17					
1	0,25	2	0,92	0,326	2,0
2	1,75	5-6	1,25	0,445	2,0
5	6,25	17	1,95	0,738	2,2
N° II. Diamètre : 12,7 cm - Nombre de cernes : 15					
1	0,25	2	0,93	0,290	1,1
2	1,75	6-7	1,29	0,343	1,3
5	6,25	15	1,78	0,613	2,0
N° III. Diamètre : 14,9 cm - Nombre de cernes : 15					
1	0,25	2	0,82	0,233	1,5
2	1,75	5-6	1,24	0,350	1,6
4	4,75	11-12	1,48	0,406	1,6
6	7,75	15	1,70	0,591	2,0
N° IV. Diamètre : 13,7 cm - Nombre de cernes : 16					
1	0,25	1-2	0,99	0,287	1,7
2	1,75	5-6	1,12	0,279	1,3
5	6,25	14-15	1,75	0,687	2,2
N° V. Diamètre : 12,7 cm - Nombre de cernes : 15					
1	0,25	2	0,94	0,334	2,0
2	1,75	4-5	1,12	0,381	1,9
5	6,25	13-14	1,74	0,681	2,2

Constatations : **Aucun des 7 rondins étudiés n'a atteint la longueur moyenne des 2 mm.**

TABLEAU VI

5) ***Pins noirs d'Autriche*** **(Figures 9 et 10)**

N° des échantillons	Distance moyenne du centre en cm	Age moyen en années	Longueur moyenne des fibres en mm	σ	Erreur standard en % de la moyenne
N° I. Diamètre : 23 cm - Nombre de cernes : 46					
1	0,25	1-2	1,09	0,281	1,3
2	1,75	4-5	1,50	0,479	1,8
3	3,25	7-8	1,76	0,463	1,4
4	4,75	13	2,14	0,485	1,0
5	6,25	21	2,31	0,528	1,3
6	7,75	31	2,23	0,637	1,5
7	9,25	37	2,38	0,527	1,2
N° III. Diamètre : 15 cm - Nombre de cernes : 33					
1	0,25	1-2	1,29	0,303	1,2
2	1,75	3-4	1,64	0,424	1,5
3	3,25	8	1,83	0,598	1,8
5	6,25	30-31	3,04	0,899	1,6
N° IV. Diamètre : 15,7 cm - Nombre de cernes : 45					
1	0,25	1	1,09	0,296	1,5
2	1,75	4-5	1,59	0,810	1,7
4	4,75	16	1,59	0,551	1,9
7	9,25	43	2,33	0,573	1,4

Constatations : La longueur de 2 mm est atteinte vers l'âge de 14 ans et à une distance moyenne du centre de 4,50 cm environ.

TABLEAU VII

6) ***Mélèzes du Japon*** **(Figures 11 et 12)**

N° I. Diamètre : 18,6 cm - Nombre de cernes : 15					
1	0,25	1	1,37	0,417	1,8
2	1,75	2-3	1,69	0,582	1,9
4	4,75	5-6	2,35	0,802	1,9
7	9,25	13-14	3,07	—	—
N° II. Diamètre : 19 cm - Nombre de cernes : 16					
1	0,25	1-2	1,36	0,524	2,1
2	1,75	3	1,47	0,329	1,1
4	4,75	5-6	2,12	0,525	1,4
7	9,25	14	3,09	0,659	1,2
N° III. Diamètre : 20 cm - Nombre de cernes : 18					
1	0,25	1-2	1,22	0,384	1,8
2	1,75	4	1,67	0,490	1,4
3	3,25	6-7	2,10	0,517	1,4
4	4,75	9	2,08	0,568	1,5
5	6,25	12-13	2,24	0,777	2,0
6	7,75	16-17	2,64	0,772	1,6
N° IV. Diamètre : 15,7 cm - Nombre de cernes : 21					
1	0,25	1-2	1,04	0,360	1,0
2	1,75	4-5	1,43	0,576	2,2
3	3,25	6-7	1,66	0,570	1,9
4	4,75	10	1,73	0,584	1,8
5	6,25	14	1,91	0,633	2,4
6	7,75	19	2,78	0,775	1,5

Constatations : La longueur de 2 mm est atteinte vers l'âge de 5 à 6 ans et à une distance du centre de 4 cm environ.

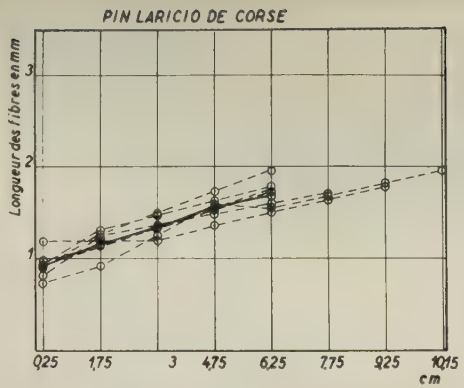


Fig. 7. Variation de la longueur des fibres en fonction de la distance au centre

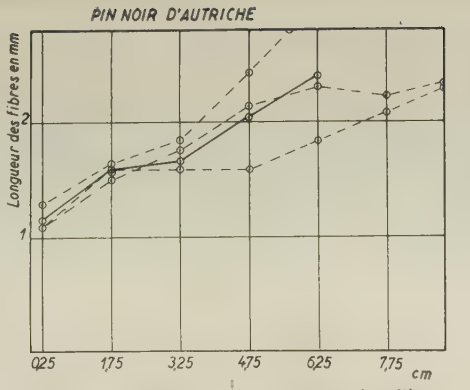


Fig. 9. — Variation de la longueur des fibres en fonction de la distance au centre

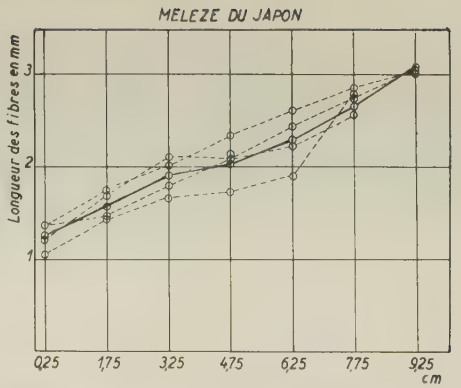


Fig. 11. — Variation de la longueur des fibres en fonction de la distance au centre

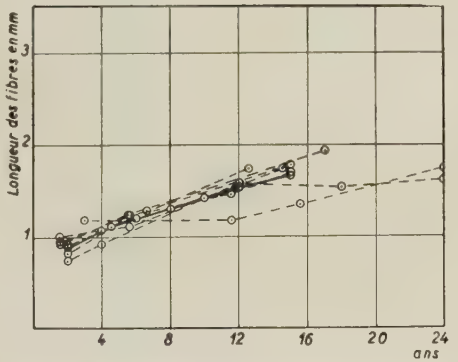


Fig. 8. Variation de la longueur des fibres en fonction de l'âge

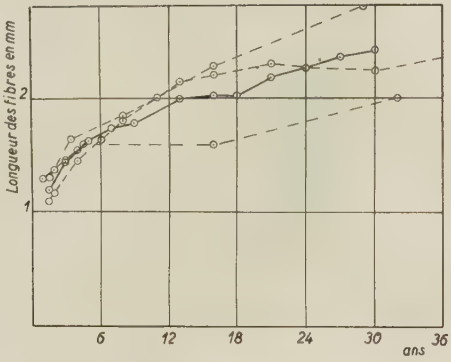


Fig. 10. — Variation de la longueur des fibres en fonction de l'âge

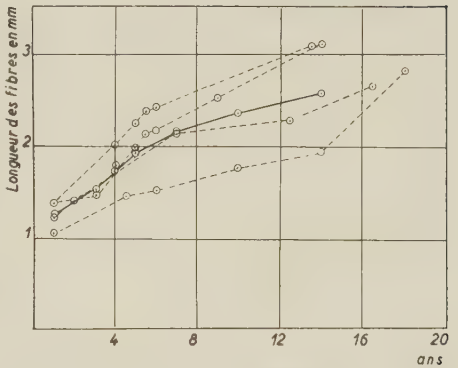


Fig. 12. — Variation de la longueur des fibres en fonction de l'âge

TABLEAU VIII

7) ***Douglas*** **(Figures 13 et 14)**

N° des échantillons	Distance moyenne du centre en cm	Age moyen en années	Longueur moyenne des fibres en mm	r	Erreur standard en % de la moyenne
N° I. Diamètre : 11,4 cm - Nombre de cernes : 16					
1	0,25	2-3	1,13	0,328	1,5
2	1,75	6	1,14	0,366	1,7
4	4,75	14	1,74	0,667	2,1
N° II. Diamètre : 10,5 cm - Nombre de cernes : 13					
1	0,25	1-2	1,14	0,359	2,6
2	1,75	4-5	1,58	0,570	2,0
4	4,75	13	1,68	0,403	1,4
N° III. Diamètre : 11,3 cm - Nombre de cernes : 15					
1	0,25	2	1,28	0,562	3,2
2	1,75	5	1,51	0,443	1,6
4	4,75	13	2,20	0,758	2,1
N° IV. Diamètre : 10,3 cm - Nombre de cernes : 15					
1	0,25	2	1,07	0,271	1,4
2	1,75	6	1,46	0,344	1,3
4	4,75	14-15	2,08	0,603	1,6
N° V. Diamètre : 11,4 cm - Nombre de cernes : 13					
1	0,25	2-3	0,93	0,301	1,8
2	1,75	5-6	1,37	0,382	1,5
4	4,75	11	1,65	0,511	1,7
N° VI. Diamètre : 10,2 cm - Nombre de cernes : 15					
1	0,25	2-3	1,08	0,311	1,6
2	1,75	5-6	1,43	0,359	1,4
4	4,75	14	2,00	0,705	2,0
N° VII. Diamètre : 9,6 cm - Nombre de cernes : 14					
1	0,25	2	0,91	0,319	2,0
2	1,75	5-6	1,13	0,431	2,2
4	4,75	13-14	1,99	0,656	2,3
N° VIII. Diamètre : 10,1 cm - Nombre de cernes : 10					
1	0,25	1-2	0,96	0,360	2,0
2	1,75	5-6	1,35	0,509	2,0
4	4,75	10	1,74	0,593	2,0
N° IX. Diamètre : 11,5 cm - Nombre de cernes : 13					
1	0,25	2-3	1,14	0,350	2,1
2	1,75	6-7	1,76	0,475	1,2
4	4,75	11-12	2,14	0,537	1,4
N° X. Diamètre : 11 cm - Nombre de cernes : 13					
1	0,25	2	1,03	0,357	1,9
2	1,75	4-5	1,29	0,467	1,6
4	4,75	10-11	1,46	0,578	2,1
N° XI. Diamètre : 11,8 cm - Nombre de cernes : 12					
1	0,25	2	0,99	0,246	1,4
2	1,75	5	1,48	0,436	1,7
4	4,75	11-12	1,77	0,223	0,7
N° XII. Diamètre : 11 cm - Nombre de cernes : 15					
1	0,25	2-3	1,10		—
2	1,75	5	1,42		—
4	4,75	11-12	2,11		—

Constatations : **Les rondins étudiés étant relativement jeunes, nous ne pouvons déterminer qu'approximativement l'endroit où la courbe exprimant la variation des longueurs de fibres atteint l'ordonnée de 2 mm. Elle semble se situer à 5 cm du centre de l'arbre vers l'âge de 15 à 16 ans.**

TABLEAU IX

8) *Epicéas* (Figures 15 et 16)

N° des échantillons	Distance moyenne du centre en cm	Age moyen en années	Longueur moyenne des fibres en mm	σ	Erreur standard en % de la moyenne
N° I. Diamètre : 11,7 cm - Nombre de cernes : 13					
1	0,25	1-2	1,12	0,405	2,0
2	1,75	6-7	1,92	0,597	1,7
4	4,75	12-13	2,15	0,733	1,9
N° II. Diamètre : 10,8 cm - Nombre de cernes : 9					
1	0,25	1-2	1,01	0,390	2,0
2	1,75	4-5	1,48	0,590	2,0
4	4,75	9	2,08	0,720	1,9
N° III. Diamètre : 11,5 cm - Nombre de cernes : 9					
1	0,25	1-2	1,13	0,297	1,4
2	1,75	3-4	1,31	0,585	2,5
4	4,75	9	2,12	0,673	1,8
N° IV. Diamètre : 11,2 cm - Nombre de cernes : 11					
1	0,25	1-2	1,19	0,321	1,5
2	1,75	5-6	1,56	0,519	1,9
4	4,75	11	2,12	0,793	2,0

Constatations : Les rondins étudiés sont également relativement jeunes. La courbe moyenne atteint l'ordonnée des 2 mm à l'âge de 9 ans et à une distance du centre de 4,25 cm environ.

CONCLUSIONS

1. — De l'examen des figures 17 et 18, dans lesquelles toutes les courbes moyennes ont été groupées, il apparaît que le mélèze atteint, à un âge avancé, des longueurs moyennes de fibres élevées.
Si la courbe exprimant la variation des longueurs de trachéides par rapport à l'âge, ressort nettement de l'ensemble des autres diagrammes, cette prédominance cesse d'exister si l'on choisit comme abscisse les distances au lieu des âges. On peut cependant affirmer que bien que croissant rapidement, cette essence est susceptible de retenir l'attention des fabricants de pâte au sulfate. Il y aurait lieu de lui accorder une attention toute particulière dans les travaux sur la recherche de nouvelles matières premières pour la fabrication de ce type de pâte.

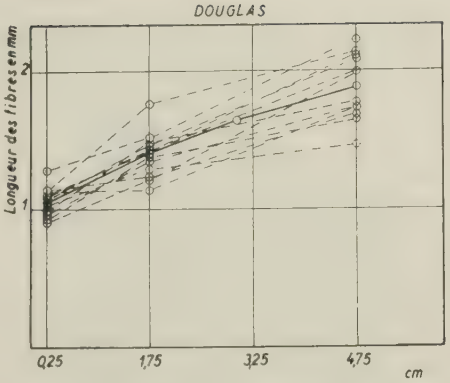


Fig. 13. — Variation de la longueur des fibres en fonction de la distance au centre

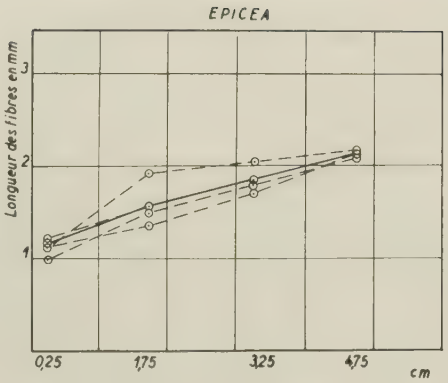


Fig. 15. — Variation de la longueur des fibres en fonction de la distance au centre

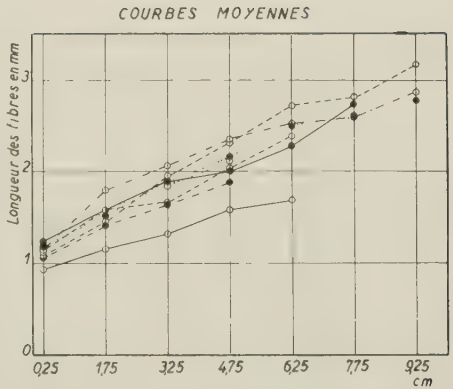


Fig. 17. — Variation des longueurs moyennes des fibres en fonction de la distance au centre

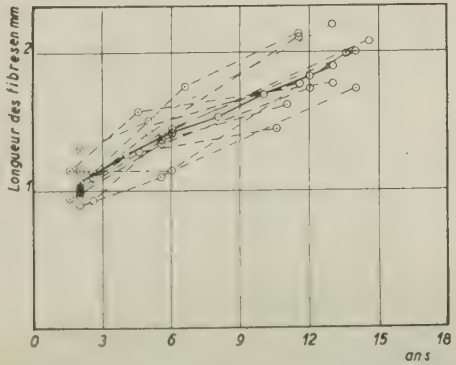


Fig. 14. — Variation de la longueur des fibres en fonction de l'âge

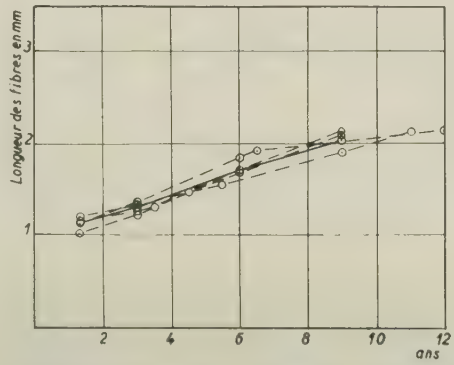


Fig. 16. — Variation de la longueur des fibres en fonction de l'âge

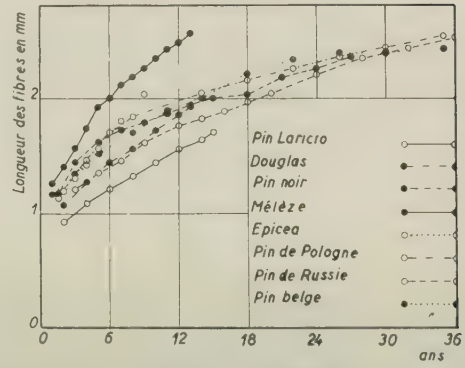


Fig. 18. — Variation des longueurs moyennes des fibres en fonction de l'âge

2. — Nous ne pouvons en dire autant du pin Laricio. Dans la gamme des valeurs, ce dernier occupe la place la plus désavantageuse. Disons que de ce côté, des essais de fabrication de pâte ont déjà été effectués en laboratoire.

   Les résultats obtenus n'ont malheureusement fait que confirmer nos craintes.

   La résistance à la déchirure, primordiale dans les papiers Kraft, n'a jamais dépassé un niveau moins que moyen.

3. — Il est plus difficile de dégager des conclusions de l'ensemble des autres courbes. L'épicéa y occupe une place honorable et bien que les échantillons étudiés soient relativement jeunes, cette essence mérite de retenir l'attention.

4. — On constate généralement que les petits pins sylvestres provenant d'éclaircies donnent des pâtes de moins bonne qualité que les rondins ordinaires. Les résultats des mensurations fournissent une explication rationnelle de ce phénomène.

5. — Nos conclusions militent en faveur de l'utilisation des dosses de scierie dans la fabrication de la pâte chimique au sulfate. Prélevées, en effet, dans les parties les plus extérieures du tronc, elles sont constituées de fibres d'autant plus longues que l'arbre qui les a fournies est plus âgé.

c. Etude de la variation des longueurs de trachéides au sein de 2 tiges complètes (Pin noir d'Autriche et Mélèze du Japon)

Le but poursuivi était d'évaluer la variation de longueurs des trachéides à différentes hauteurs de la tige. Dans les 2 sujets choisis, respectivement un Mélèze du Japon, âgé de 23 ans, et un Pin noir d'Autriche, âgé de 48 ans, nous avons prélevé des rondelles à des niveaux plus ou moins régulièrement espacés. Pour chaque tranche, nous avons utilisé le schéma de prélèvement décrit précédemment. Nous avons pu ainsi établir les figures 19 et 20 qui représentent une coupe longitudinale passant par le centre des 2 tiges analysées. Les résultats sont repris dans les tableaux X et XI.

Si nous exprimons en volume les 3 zones délimitées sur nos 2 diagrammes, nous pouvons établir le tableau XII.

Au point de vue de l'industriel papetier, les rondins les plus intéressants seront ceux qui présentent, pour un volume donné, le maximum de fibres longues.

On remarquera que chez le Mélèze, les rondins les plus avantageux se situent aux deux extrémités de la tige alors que chez le Pin noir d'Autriche, le maximum de fibres longues se situe au sommet de l'arbre.

TABLEAU X

Analyse d'une tige de Mélèze du Japon âgée de 23 ans

Provenance : VIELSALM

N° des échantillons	Distance moyenne du centre en cm	Age moyen en années	Longueur moyenne des fibres en mm	σ	Erreur standard en % de la moyenne
Section située à 2 m de hauteur - Diamètre : 18,6 cm - Nombre de cernes : 23					
1	0,25	1	1,30	0,382	1,7
2	1,75	2-3	1,37	0,537	2,2
3	3,25	4-5	1,86	0,664	2,1
4	4,75	7-8	2,49	0,797	2,2
5	6,25	11-12	2,67	0,825	1,9
6	7,75	16	2,63	0,995	2,2
7	9,25	22-23	3,32	0,987	1,4
Section située à 4 m de hauteur - Diamètre : 16,7 cm - Nombre de cernes : 21					
1	0,25	1-2	1,04	0,360	1,2
2	1,75	4-5	1,43	0,576	2,2
3	3,25	6-7	1,66	0,570	1,8
4	4,75	10	1,73	0,584	1,3
5	6,25	14	1,91	0,683	2,4
6	7,75	19	2,78	0,775	1,7
Section située à 6 m de hauteur - Diamètre : 15 cm - Nombre de cernes : 19					
1	0,25	1-2	0,95	0,409	2,5
2	1,75	3-4	1,87	0,607	1,8
3	3,25	6	1,94	0,739	2,4
4	4,75	9-10	2,02	0,791	2,2
5	6,25	14-15	2,26	0,883	2,4
Section située à 8 m de hauteur - Diamètre : 11,7 cm - Nombre de cernes : 17					
1	0,25	1-2	1,08	0,305	1,5
2	1,75	4	1,22	0,500	2,4
3	3,25	6-7	1,50	0,817	3,3
4	4,75	12	2,47	0,985	1,9
Section située à 10 m de hauteur - Diamètre : 11 cm - Nombre de cernes : 15					
1	0,25	1-2	1,13	0,465	1,8
2	1,75	3-4	1,79	0,973	3,0
3	3,25	7	1,74	0,785	2,5
4	4,75	12	2,32	0,990	2,5
Section située à 12 m de hauteur - Diamètre : 9,5 cm - Nombre de cernes : 13					
1	0,25	1-2	0,93	0,427	2,5
2	1,75	3-4	1,50	0,944	3,6
3	3,25	7	2,01	0,503	2,4
4	4,75	12	2,06	0,655	2,0
Section située à 14 m de hauteur - Diamètre : 6,5 cm - Nombre de cernes : 9					
1	0,25	2	1,15	0,470	2,3
2	1,75	5-6	2,20	0,684	1,7
3	3,25	9	2,45	0,955	2,2

TABLEAU XI

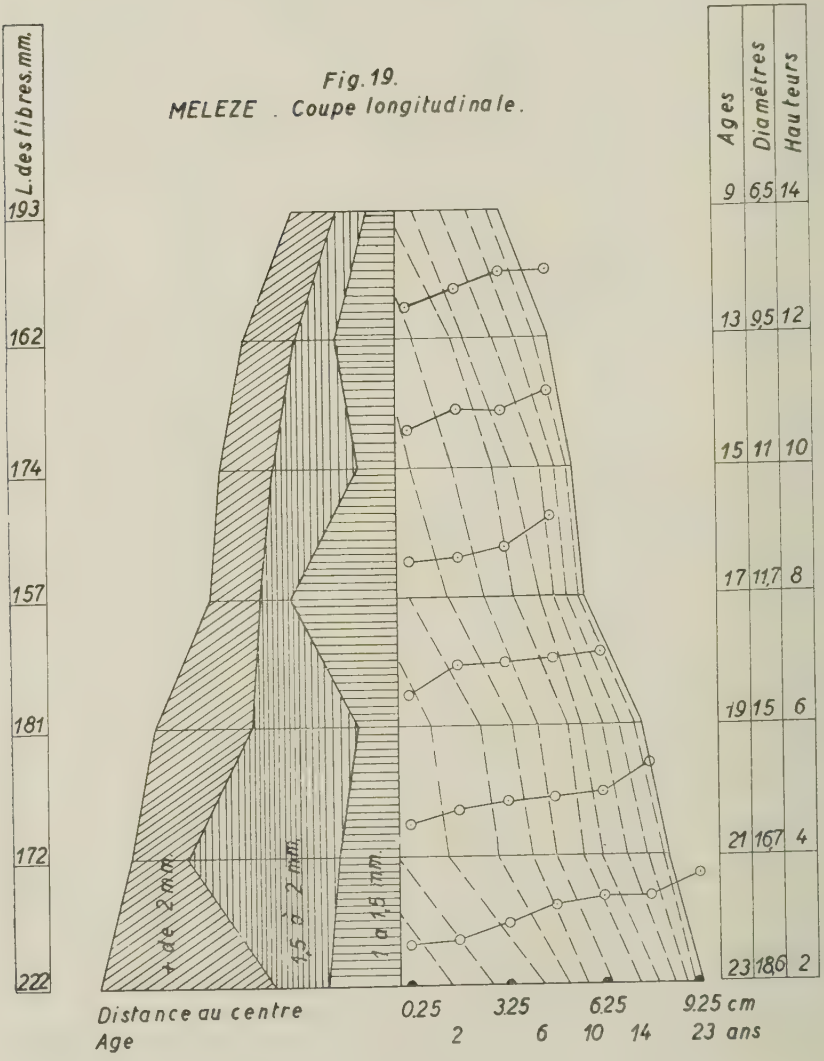
Analyse d'une tige de Pin noir d'Autriche âgée de 48 ans

Provenance : MONT-SAINT-GUIBERT

N° des échantillons	Distance moyenne du centre en cm	Age moyen en années	Longueur moyenne des fibres en mm	σ	Erreur standard en % de la moyenne
Section de base. Diamètre : 26 cm - Nombre de cernes : 48					
1	0,25	1-2	1,03	0,281	1,4
2	1,75	3-4	1,26	0,479	2,2
3	3,25	8-9	1,40	0,463	1,8
4	4,75	13-14	1,42	0,485	1,5
5	6,25	18-19	1,48	0,528	2,0
6	7,75	26-27	1,99	0,637	1,7
7	9,25	34	1,79	0,527	1,6
8	10,75	39-40	1,77	0,587	1,9
9	12,25	43	2,01	0,602	1,7
Section située à 2 m du pied - Diamètre : 24,6 cm - Nombre de cernes : 46					
1	0,25	1-2	1,15	0,254	1,2
2	1,75	5	1,60	0,419	1,4
3	3,25	8-9	1,67	0,473	1,4
4	4,75	13	1,77	0,605	1,9
5	6,25	17-18	1,93	0,789	1,2
6	7,75	27-28	2,18	0,624	1,1
7	9,25	34	1,86	0,458	1,3
8	10,75	37-38	1,86	0,694	2,1
9	12,25	44-45	2,32	0,813	2,0
Section située à 5 m du pied - Diamètre : 20,7 cm - Nombre de cernes : 43					
1	0,25	1-2	1,09	0,027	0,9
2	1,75	4-5	1,50	0,550	1,3
3	3,25	7-8	1,76	0,515	1,0
4	4,75	13	2,14	0,573	1,5
5	6,25	21	2,31	0,715	1,7
6	7,75	31	2,23	0,616	1,6
7	9,25	37	2,38	0,548	1,3
Section située à 8 m du pied - Diamètre : 20 cm - Nombre de cernes : 41					
1	0,25	1-2	1,19	0,357	1,7
2	1,75	4-5	1,68	0,414	1,3
3	3,25	7-8	1,93	0,478	1,3
4	4,75	12	2,23	0,649	1,2
5	6,25	18	2,11	0,632	1,3
6	7,75	26	2,14	0,689	1,3
7	9,25	33	2,35	0,716	1,7
Section située à 10 m du pied. Diamètre : 16,2 cm - Nombre de cernes : 29					
1	0,25	1-2	1,19	0,381	1,8
2	1,75	5-6	1,56	0,397	1,4
3	3,25	8-9	2,05	0,587	1,1
4	4,75	13-14	2,08	0,567	1,1
5	6,25	20	2,36	0,783	1,9
6	7,75	27	2,19	0,765	2,0

Conclusions : La variation de la longueur des fibres est difficile à définir. En effet, si nous superposons les courbes obtenues à différentes hauteurs, nous constatons que chez le Mélèze, la courbe la plus avantageuse se situe à 2 m, la section de base n'ayant pas été étudiée pour cette dernière essence. Chez le pin noir, au contraire, la courbe la moins intéressante se situe à la base ; elle s'améliore avec la hauteur, pour se stabiliser ensuite aux environs de 5 m. Il n'est donc pas possible de tirer une loi générale de ces résultats.

Fig. 19.
MELEZE . Coupe longitudinale.



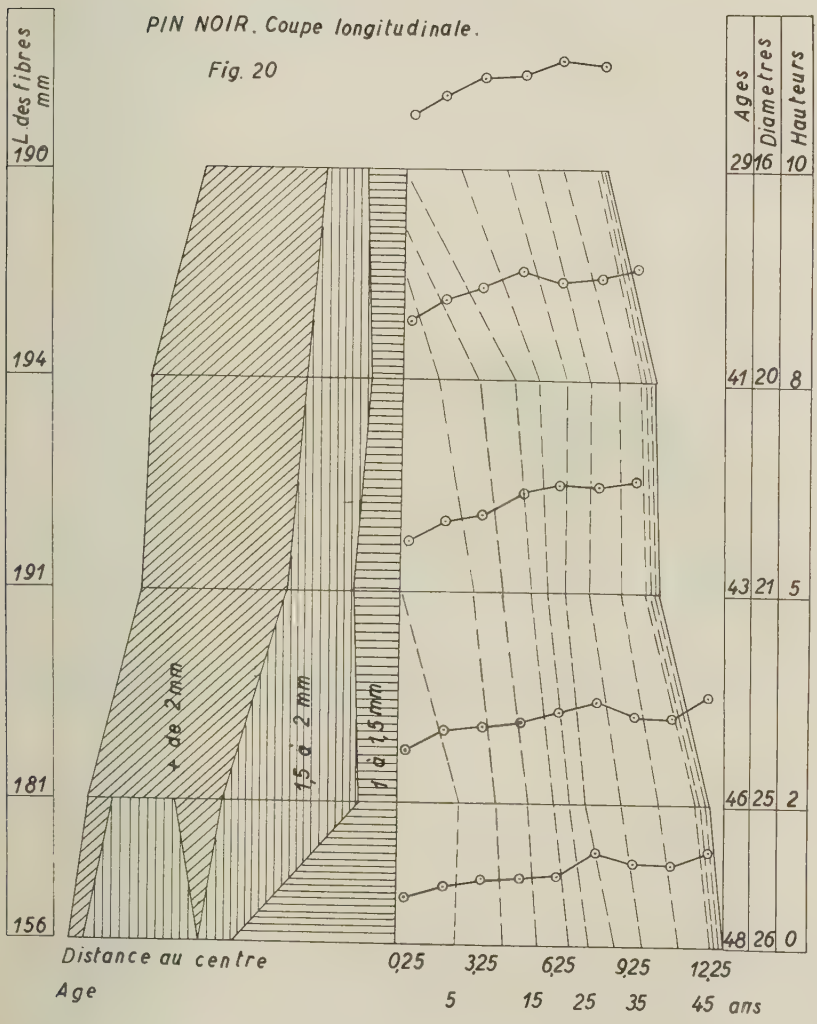

PIN NOIR. Coupe longitudinale.
Fig. 20
L des fibres mm
190
194
191
181
156
+ de 2mm
1,5 à 2 mm
1 à 1,5 mm
Ages
Diametres
Hauteurs
29 16 10
41 20 8
43 21 5
46 25 2
48 26 0
Distance au centre
0,25 3,25 6,25 9,25 12,25
Age
5 15 25 35 45 ans

TABLEAU XII

	Pour un volume total de 100 :		
	Volume comprenant les fibres inférieures à 1,5 mm	Volume comprenant les fibres entre 1,5 et 2 mm	Volume comprenant les fibres supérieures à 2 mm
1. *Mélèze du Japon :*			
Tronçon entre :			
2 et 4 m . .	6	39	55
4 et 6 m . .	3	45	52
6 et 8 m . .	12	43	45
8 et 10 m . .	16	49	35
10 et 12 m . .	8	49	43
12 et 14 m . .	9	38	53
2. *Pin noir d'Autriche :*			
Tronçon de base	10	67	23
Tronçon entre :			
2 et 5 m . .	2	22	76
5 et 8 m . .	2	12	86
8 et 10 m . .	2	11	87

On pourrait en conclure que la tige de Pin noir est plus avantageuse au point de vue papetier, mais il ne faut toutefois pas perdre de vue les âges respectifs des 2 arbres étudiés.

d. Etude de la variation de l'épaisseur des parois, diamètre extérieur, diamètre du lumen des trachéides sur coupes microscopiques

Le bois des résineux se caractérise par une structure extrêmement simple. On peut y distinguer deux types d'éléments, que nous appellerons les éléments fondamentaux et les éléments secondaires.

Les éléments fondamentaux comprennent :

a) Les trachéides verticales qui sont des cellules allongées dans le sens de l'axe de l'arbre, de section quadrangulaire ou polygonale, communiquant entr'elles par des ponctuations aréolées. Elles sont pourvues également, dans le champ de croisement avec les cellules parenchymateuses des rayons, de ponctuations simples de types variables.

Dans les conifères des pays tempérés, la limite entre les accroissements est généralement bien marquée. Elle provient du contraste existant entre le bois d'été (bois final) et le bois de printemps (bois initial). Le

premier formé en fin de végétation est constitué de trachéides à parois épaisses ; le second, de trachéides de plus grand diamètre et à parois minces.

b) Les rayons ligneux de nature parenchymateuse, dont les éléments sont groupés en lamelles minces d'une cellule d'épaisseur et dont la hauteur peut varier de 1 à 40 cellules. Celles-ci sont généralement pourvues de ponctuations simples.

Les éléments accessoires comprennent :

a) Le parenchyme formant des files longitudinales comportant un certain nombre de cellules. En général, rare ou absent, on le rencontre principalement dans le genre Cedrus et dans les familles des Cupressacées et Taxodiacées.

b) Les trachéides transversales qui sont des trachéides assez courtes, disposées dans certains rayons ligneux et pourvues de petites ponctuations aréolées.

c) Les canaux résinifères qui sont constitués par des cellules secrétrices tapissant la paroi interne d'un canal cylindrique dans lequel s'accumule la résine. Ces canaux sont de 2 types, les canaux verticaux et les canaux horizontaux. Ces derniers font partie intégrante des rayons.

Structure des trachéides verticales dans le papier

a) *Trachéides du bois de printemps*

La figure 21 représente une coupe transversale et longitudinale schématique dans une trachéide telle que nous la rencontrons dans le bois initial. Après délignification, elle s'affaissera et prendra la forme représentée à la figure 22. Plus la paroi de la trachéide sera mince et plus la dimension m tendra vers a + b. Cette forme souple et rubanée favorisera les larges surfaces de contact.

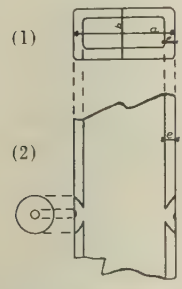


Fig. 21. — Trachéide du bois initial telle qu'elle se présente dans le bois
(1) Coupe transversale
(2) Coupe tangentielle

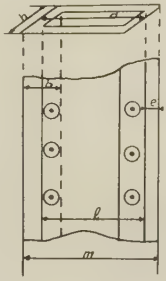


Fig. 22. — Trachéide du bois initial telle qu'elle se présente dans la pâte

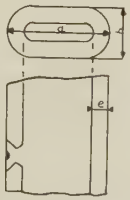


Fig. 23. — Trachéide du bois final telle qu'elle se présente dans le bois et dans la pâte

b) *Trachéides du bois d'été*

La figure 23 représente une coupe transversale et longitudinale schématique dans une trachéide du bois final. Après transformation en pâte, cet élément ne subira pour ainsi dire aucune modification, et nous le retrouverons dans le papier sous la forme de fibres rigides apportant à ce dernier de la main et favorisant sa résistance à la déchirure.

Variation de l'épaisseur des parois des trachéides et du coefficient de souplesse chez quelques résineux

Le coefficient de souplesse est défini par la formule $\frac{l}{L} \times 100$ dans laquelle l représente le diamètre du lumen et L le diamètre extérieur de la trachéide. Il existe une corrélation étroite entre ce coefficient et la L.R. Nous avons donc étudié la variation de l'épaisseur des parois et du coefficient de souplesse au sein d'un accroissement chez quelques résineux.

Nous avons ainsi préparé une série de coupes transversales dans des résineux divers. Nous y avons choisi au hasard, des files radiales de trachéides : nous avons mesuré l'épaisseur des parois, le diamètre du lumen et le diamètre extérieur de ces trachéides.

Nous avons reporté ces résultats sur deux graphiques (fig. 24 et 25). Le nombre reporté en abscisse représente le n° d'ordre de la trachéide dans un accroissement, l'origine se situant au bord extérieur de celui-ci. Les numéros d'ordre les plus faibles correspondent donc au bois final, les plus élevés au bois initial. A chaque courbe représentant la variation de l'épaisseur des parois (fig. 24) correspond une autre exprimant la variation du coefficient de souplesse (fig. 25). On remarquera que ce dernier est minimum dans le bois d'été et augmente progressivement pour atteindre son maximum dans le bois de printemps.

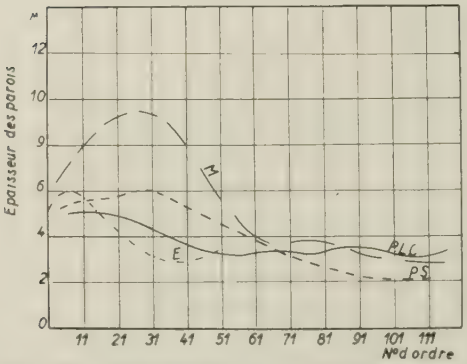


Fig. 24. — Epaisseur des parois des trachéides en fonction de leur position dans un accroissement

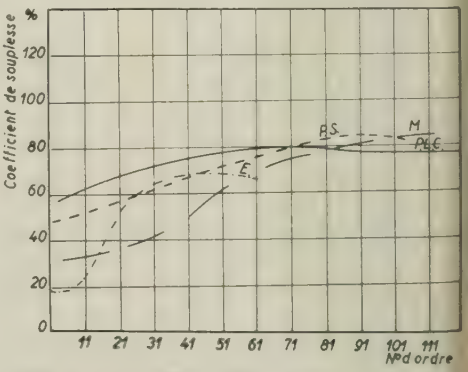


Fig. 25. — Coefficient de souplesse en fonction de la position des trachéides dans un accroissement

CONCLUSIONS

1. — Etant donné leur structure, les trachéides du bois initial donneront donc des papiers denses. Leur coefficient de souplesse élevé leur conférera une bonne résistance à la traction et à l'éclatement. La résistance à la déchirure sera plutôt faible.

   Au contraire, les trachéides du bois final donneront des papiers ayant beaucoup de main, ayant une résistance élevée à la déchirure, mais une moins bonne résistance à la traction.

2. — On remarquera la supériorité du Mélèze du Japon sur les autres essences au point de vue de l'épaisseur des parois. Ces constatations jointes à celles émises précédemment, démontrent une fois de plus que le Mélèze du Japon est une essence à retenir pour la fabrication de pâte Kraft. De par la longueur de ses fibres et l'épaisseur des parois de celles-ci, il apportera théoriquement au papier une bonne résistance à la déchirure. Nous espérons pouvoir confirmer ces constatations par des essais de laboratoire.

Nous reproduisons ici un exemple de calcul ayant servi à la détermination de la moyenne, de la déviation standard et de l'erreur standard :

Pin d'U.R.S.S. IV — Echantillon n° 1

Intervalles de classes en mm	Fréquences (f)	f x m (1)	M - m = d	d^2	f d^2
0,4 à 0,6	1	0,50	— 0,98	0,9604	0,9604
0,6 à 0,8	15	10,50	— 0,78	0,6084	9,1260
0,8 à 1,0	26	23,40	— 0,58	0,3364	8,7464
1,0 à 1,2	39	42,90	— 0,38	0,1444	5,6316
1,2 à 1,4	57	74,10	— 0,18	0,0324	1,8468
1,4 à 1,6	49	73,50	+ 0,02	0,0004	0,0196
1,6 à 1,8	49	83,30	+ 0,22	0,0484	2,3716
1,8 à 2,0	27	51,30	+ 0,42	0,1764	4,7628
2,0 à 2,2	20	42,00	+ 0,62	0,3844	7,6880
2,2 à 2,4	8	18,40	+ 0,82	0,6724	5,3792
2,4 à 2,6	3	7,50	+ 1,02	1,0404	3,1212
2,6 à 2,8	3	8,10	+ 1,22	1,4884	4,4652
2,8 à 3,0	1	2,90	+ 1,42	2,0164	2,0164
3,0 à 3,2	1	3,10	+ 1,62	2,6244	2,6244
3,2 à 3,4	1	3,30	+ 1,82	3,3124	3,3124
	300	444,80		Σfd^2 : 62,0720	

(1) m : moyenne des intervalles de classes.

$$M = \frac{\Sigma\ f\ x\ m}{300} = 1{,}48 \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\Sigma\ f\ d^2}{300}} = 0{,}450$$

$$\sigma\ M = \frac{\sigma}{\sqrt{300}} = 0{,}025 \qquad \sigma_M \text{ en } \% \text{ de } M = 1{,}7\ \%.$$

BIBLIOGRAPHIE

(1) CASEY, J. P. (1952) : Pulp and Paper. **vol. I,** P. 397. *Interscience publishers* Inc. New-York.

(2) JANE, F. W. (1956) : The Structure of Wood. P. 191. London.

(3) KOLLMANN, F. (1951) : Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Zweite Auflage. *Erster Band S.* **11,** München.

(4) PEW, J. C. and KNECHTGES, R. G. : Cross-sectional Dimensions of Fibres in relation to Papermaking Properties of Lobolly Pine, Paper Trade Journal. October 12,1939. **vol. 109.**

(5) SPEPHENSON, J. N. (1950) : Pulp and Paper Manufacture. **vol. I,** P. 34. *Mc Grow Hill.*

(6) TRENDELENBURG, R. (1939) : Das Holz als Rohstoff S. 74. München.

(7) WILSON, J. W. : A critical Survey of Laboratory Wood. Maceration Technique. Research Paper n° 7. Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, B. C.

CHAIRE DU GENIE RURAL
ETUDE DES MATERIAUX — CONSTRUCTIONS
Prof. M. L. BLANJEAN

Economie de combustible et constructions horticoles (*)

par

André NISEN

SOMMAIRE

INTRODUCTION ... 140

CHAP. I : *Economie de combustible dans les SERRES* ... 141

1. Efficacité d'un système de chauffage ... 141
2. Diminution des pertes de chaleur ... 143

CHAP. II : *Calcul théorique des pertes de chaleur au travers d'une paroi*

1. Généralités ... 144
2. Détermination du coefficient de passage ... 147
   A. Coefficient de conductibilité thermique λ ... 147
   B. Coefficient de transmission de la chaleur α ... 148
      Quelques valeurs de α ... 150
   C. Coefficient général de passage k ... 151
3. Conductibilité thermique du verre ... 153
   A. Cas d'un vitrage simple ... 153
   B. Cas d'un vitrage double ... 154
   C. Comparaison entre un vitrage simple et un vitrage double 155
4. Calcul théorique dans le cas des serres ... 156

Remarques générales ... 158

CHAP. III : *Exemple numérique* ... 159

Analyse des résultats ... 162

CHAP. IV : *Comment diminuer le « k » du matériau de couverture ?* ... 166

1. Généralités ... 166

(*) Déposé à la rédaction le 23 avril 1957.

2. Le verre 168
— Etude des vitrages doubles 168
— Conductibilité thermique de couches d'air verticales ... 169
— Courants thermiques dans les doubles vitrages 171
— Comment réaliser ces doubles vitrages ? 172
3. Matières plastiques 175

CONCLUSIONS 177

Bibliographie 178

INTRODUCTION

Dans un précédent travail (1), nous avons donné un aperçu des résultats que l'on pouvait espérer obtenir en substituant aux feuilles de verre ordinairement employées, un certain nombre de types de couvertures *vitrées*. L'utilisation de *doubles parois vitrées* (et spécialement celle de « volumes » commerciaux formés de deux feuilles de verre séparées par une *mince* couche d'air maintenu toujours sec, l'ensemble, hermétique, possédant une capacité *constante* d'isolation thermique) s'est avérée intéressante au plus haut point.

Grâce à leur pouvoir isolant plus élevé, ces « doubles parois » ont permis d'obtenir des températures constamment supérieures à celles relevées sous vitrage simple, dans des conditions identiques d'expérimentation. Ces différences de température se sont, ainsi que l'on devait s'y attendre, pour autant que la variation d'intensité lumineuse ne soit pas néfaste aux végétaux cultivés sous ces « volumes », — traduites par une augmentation sensible de rendements à l'avantage des vitrages doubles, conséquence logique du fait que seul le facteur « chaleur » avait été maintenu sciemment à un minimum relatif.

La faible diminution de la quantité de lumière reçue par les plantes n'a pas influencé la croissance de celles-ci : ou plutôt, si elle a joué un rôle, son action a été de loin surpassée et masquée par celle du facteur température qui a permis une croissance beaucoup plus rapide des radis et laitues utilisés comme matériel vivant d'expérimentation. Nous croyons devoir interpréter les résultats obtenus de la manière suivante : puisqu'aucun apport « artificiel » de chaleur n'a été effectué (nous avons utilisé des couches froides dépendant uniquement de l'énergie solaire quant à leur « chauffage ») *la présence d'un matériau limitant dans une mesure très sérieuse les pertes de chaleur s'est traduite par une croissance plus rapide des végétaux cultivés.*

En récoltant le matériel vivant dans toutes les couches au même moment, il était logique d'obtenir un rendement accru dans celles qui avaient accusé des courbes de température plus favorables à la croissance.

(1) *Le verre, matériau de construction en Horticulture.* Premiers résultats de quelques essais. *Bull. Inst. agr. et Stat. Rech. de Gembloux.* Tome XXII, n°s 1-2, 1954.

Mais, du point de vue économique, on peut aussi admettre que, dans les couches recouvertes d'un vitrage double, un même développement du matériel vivant a été obtenu plusieurs semaines plus tôt ; ce fait revêt plus d'importance que l'on ne pourrait le croire : les prix obtenus par l'horticulteur lorsqu'il met ses produits en vente une semaine ou deux plus tôt au début de la saison sont très nettement supérieurs et lui assurent une marge bénéficiaire appréciable.

*
**

L'utilisation, en Horticulture, de doubles parois vitrées et surtout celle des « volumes » commerciaux très coûteux, rencontre peu de sympathie à l'heure actuelle et est souvent qualifiée d'utopique par d'aucuns.

Comment, en effet, contrebalancer l'augmentation importante du prix de revient ?

Nous voudrions, au moment où la pénurie de combustible et l'augmentation continue de son prix d'achat porte à l'ordre du jour le problème de l'économie de chauffage, passer en revue les principaux moyens dont dispose l'horticulteur pour réduire les pertes de chaleur dans ses constructions vitrées, en insistant tout spécialement sur certains points très particuliers, assez obscurs pour le profane.

En nous basant autant que faire se peut sur des cas particuliers que nous convertirons en sommes d'argent, lorsque cela sera possible, nous allons envisager le point de vue économique, avec toute l'exactitude qu'il nous sera possible d'y apporter.

Mais avant de terminer cette introduction, nous voudrions encore attirer l'attention du lecteur sur les *mesures légales* qui, dans certaines conjonctures, imposent des modifications ou des transformations bien définies dans la construction ; ainsi, la pénurie de charbon, mazout... pourrait obliger l'horticulteur à modifier son économie, c'est-à-dire à immobiliser, au départ, un capital plus élevé, capital qui s'amortirait ultérieurement par une économie de combustible.

CHAPITRE I

ECONOMIE DE COMBUSTIBLE DANS LES SERRES

1. — Efficacité d'un système de chauffage

C'est le premier point qu'il importe d'envisager.

Quels *sont les facteurs qui* déterminent l'efficacité du système de chauffage ?

Nous pouvons citer :

1) *le rendement du foyer*, c'est-à-dire le rapport de la quantité de chaleur utilisable à celle réellement fournie par le combustible ; ce rendement peut varier de 25 à 75 % !

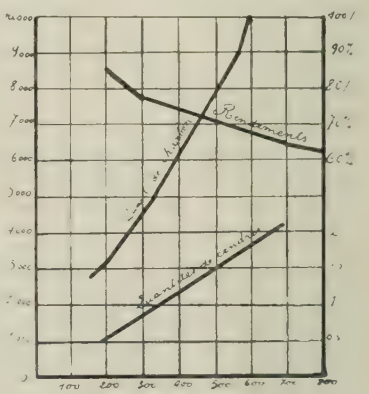
2) *le système de transfert de la chaleur*, c'est-à-dire les conduites de chauffage central ou à distance.

3) *la température des surfaces de chauffe :* lorsque les surfaces de chauffe sont portées à une température trop élevée, l'*air chauffé par convection* atteint une *température elle aussi trop élevée*, ce qui a pour conséquence de lui faire subir des mouvements ascensionnels inattendus, de sorte que la chaleur est davantage dirigée vers les parties hautes, non utilisées de la serre, état de choses qui s'effectue, cela se conçoit, aux dépens de la diffusion latérale, à partir des surfaces de chauffe, vers les parties basses (là où se trouvent les plantes cultivées). Ce phénomène nuit donc à l'efficacité du système de chauffage.

4) l'*emplacement des surfaces de chauffe :* la chaleur doit être distribuée *uniformément* dans le local chauffé.

Si nous voulons appliquer ces données au *chauffage central*, nous nous apercevons que le rendement normal doit être distingué du rendement à marche lente, et que nous devons étudier séparément les divers systèmes couramment utilisés dans les serres, à savoir l'eau chaude ou la vapeur.

D'après Romiée (réf. 6) : « Normalement, une chaudière de chauffage à eau chaude donne un rendement variant de 60 à 70 %. Il va sans dire que, si la chaudière est mal entretenue, fortement incrustée, ou si le tirage est trop fort, ce rendement peut tomber dans de fortes proportions, ce qui est souvent le cas ».



Graphique 1
(d'après Romiée, réf. 6)

Le graphique 1 donne trois courbes se rapportant à une chaudière de chauffage central... « La courbe des rendements ne descend pas au-dessous de 60 %. Il va sans dire que ces essais ont été effectués avec une conduite de feu rationnelle, ce qui n'est pas souvent le cas, en pratique. La comparaison des courbes obtenues pour différentes allures de combustion conduit à cette conclusion que, pour qu'une chaudière fonctionne dans les meilleures conditions de rendement, son allure doit être aussi modérée que possible. Il faut donc préférer une chaudière trop grande à une chaudière trop petite... ».

L'emplacement des corps de chauffe soulève encore bien des problèmes et est loin d'être déterminé avec certitude dans le cas des serres.

Le débit de chaleur des conduites plus ou moins calorifugées détermine encore une perte de 5 à 10 %, ce qui porte à *50-60 % le rendement total d'une installation de chauffage central à eau chaude*, en marche normale.

Ce rendement est, comme on peut le voir, éminemment variable. Nous éviterons, dans les exemples qui vont suivre, et dans la mesure du possible, de faire intervenir ce rendement ; ou alors, nous l'estimerons à 65 %, ce qui peut paraître trop élevé d'après les considérations ci-dessus, mais nous semble cadrer mieux avec un exemple dans lequel on *cherche uniquement* à diminuer les pertes de chaleur...

2. — Diminution des pertes de chaleur dans les serres

Il n'est pas de solution générale et aisée au problème des pertes de chaleur. Il est également très malaisé de diminuer ces pertes, d'un seul coup, de plusieurs dizaines de %. Mais il existe bien des façons de « gagner quelques calories », ce qui, au total, nous permet d'améliorer très sensiblement les situations existantes.

Nous allons citer pêle-mêle toutes les possibilités de « gagner quelques % » dans la lutte contre les pertes inutiles de chaleur :

1) *surveiller la ventilation :* n'aérer, en hiver et pendant les saisons de chauffage intensif, que pendant le temps réellement indispensable.

2) *réduire le chauffage avant* une aération importante et ne le relancer qu'après cette aération : la chaleur apportée à la serre pendant l'aération active est immédiatement transmise à l'extérieur.

3) maintenir *portes et fenêtres* fermées d'une façon *stricte ;* ne les ouvrir que lorsque cela s'avère indispensable et pendant le minimum de temps. Ne se servir, de préférence, que des *portes exposées au midi*, et, au besoin, condamner les autres pendant la période des grands froids. Rationaliser le travail : pourquoi sortir 2 fois lorsqu'une seule suffit ? Notons que les *tambours d'entrée* peuvent rendre de très grands services, en limitant le volume d'air refroidi à chaque ouverture des portes.

4) *rendre les joints aussi étanches que possible*, ce qui implique :
   a) la pose méticuleuse des vitrages, au mastic de préférence,
   b) la réalisation parfaite des châssis et battées, de façon à ce que les feuilles de verre s'appliquent parfaitement sur leurs repos, et ce, le long de tout le périmètre des feuilles,
   c) la pose de bourrelets d'étanchéité aux portes et fenêtres en usage ; l'obligation de condamner portes et fenêtres inutiles ou plutôt non indispensables.

On sait que l'action principale du vent *consiste en l'introduction d'air venant de l'extérieur par les endroits insuffisamment étanches de la surface de la construction.*

Lorsqu'un immeuble est exposé au vent, il se produit du côté du vent une surpression, tandis que du côté sous-le-vent, il règne une dépression. Sous l'influence de la perméabilité des parois extérieures et surtout grâce à l'imperfection quasi automatique des jointures des portes et fenêtres, il s'établit à travers le bâtiment, une réelle circulation d'air qui, dans les cas les plus défavorables (immeuble isolé, non protégé du vent, dont portes ou fenêtres joignent mal) peut atteindre une valeur plusieurs fois égale à celle de la circulation naturelle *entre les différentes parties de l'édifice. (La* circulation naturelle *d'air est celle qui se produit dans une pièce chauffée, même en l'absence de vent, du fait que la différence entre les températures interne et externe détermine une différence de pression.)*

Pour les portes et fenêtres qui sont hermétiquement *closes, aucune circulation notable d'air ne peut se produire : nous pouvons, dans ce cas, admettre que les seules pertes de chaleur soient dues au phénomène pur et simple de passage de la chaleur, régi par les formules reprises au chap. II § 1.*

Mais ces formules ne sont pas d'application stricte pour les constructions ordinaires, en ce qui concerne les ouvertures indispensables. Dans ce cas, un transport de chaleur dû à une circulation d'air plus ou moins intense au travers des joints vient aggraver de son action celle du passage « pur » de chaleur. Nous verrons plus loin comment en tenir compte.

5) Diminuer le coefficient de transmission de la chaleur du matériau de couverture utilisé, c'est-à-dire, en fait, utiliser un matériau qui limite davantage les déperditions de chaleur, tout en possédant les qualités de « transparence » aux rayons lumineux exigées par les plantes.

CHAPITRE II

CALCUL THEORIQUE DES PERTES DE CHALEUR AU TRAVERS D'UNE PAROI

Ce problème est tellement complexe, et les données des différents auteurs, tellement contradictoires, qu'il nous a paru intéressant de mettre un certain nombre de questions au point en passant en revue la bibliographie, d'ailleurs restreinte, concernant les pertes de chaleur. Il existe d'autre part, une confusion incroyable au sujet des k, λ, α, etc... et maints auteurs, et surtout maintes firmes commerciales, semblent ignorer complétement la base même du problème.

Puissions-nous pouvoir jeter quelque clarté sur la question et attirer l'attention des personnes intéressées sur la gravité des erreurs commises de façon à unifier l'utilisation des coefficients employés...

1. — Généralités

Le facteur principal à envisager est naturellement la différence de température ($t_i - t_e$) entre l'intérieur et l'extérieur de la serre.

Si nous étudions le problème théoriquement, et examinons les différentes phases du passage de la chaleur d'un milieu I à un milieu E, nous voyons tout d'abord :

1) *que la chaleur chemine, aux environs de la paroi, dans le premier milieu I et arrive au contact de la face* plus ou moins plane, *limitant cette paroi de séparation I-E ;* l'intensité de ce phénomène est en raison directe du COEFFICIENT DE TRANSMISSION DE LA CHALEUR α_i, dont les dimensions sont : k cal/m² h °C (kilo calories par mètre carré, heure, degré centigrade).

Ce coefficient de transmission α représente donc l'*unité de transport de la chaleur entre deux milieux différents* (dans le cas de α_i entre air et matériau formant la paroi) *en contact l'un avec l'autre.* Il semble avoir une valeur relative, fonction des paramètres des deux milieux ou matières.

Ce coefficient est aussi appelé *coefficient d'échange superficiel.*

2) *que la chaleur se propage alors au travers de la paroi, de molécule à molécule,* et ce *jusqu'à ce qu'elle atteigne la seconde face ;* le phénomène de propagation est fonction de l'épaisseur et de la nature de la paroi et son intensité est caractérisée par le COEFFICIENT DE CONDUCTIBILITE THERMIQUE λ, exprimé en *k cal/m.m².h.°C* et représentant, en fait, *la quantité de chaleur échangée pendant l'unité de temps entre 2 faces opposées d'un cube d'arête unitaire, pour une différence de température de 1 centigrade entre les 2 faces envisagées.*

3) Enfin, *la chaleur chemine de la face de la paroi au milieu E,* et ce, en fonction du COEFFICIENT DE TRANSMISSION CALORIFIQUE α_e du second milieu, coefficient dont la valeur est le plus souvent différente de celle de α_i.

Nous avons ainsi scindé le phénomène en 3 phases, ce qui est logique puisqu'en fait, 3 milieux différents interviennent à tour de rôle. Nous caractériserons alors le PHENOMENE GENERAL *par le* **COEFFICIENT DE PASSAGE K** exprimé en kcal/m² h °C.

L'équation fondamentale de passage de la chaleur d'un milieu I dans un milieu E au travers d'une paroi s'exprime donc :

$$Q_h = k\ S\ (t_i - t_e) \qquad \ldots\ldots (1)$$

si Q_h : quantité de chaleur qui passe, par heure, de I vers E ;
k : coefficient de passage (kcal/m² h °C)
S : surface de la paroi en m²
$t_i - t_e$: différence de température entre les milieux I et E.

($1/k$ est l'inverse du coefficient de passage, c'est-à-dire la résistance au passage de la chaleur).

Etant donné que le phénomène se scinde en 3 phases (cf. ci-dessus),

nous avons : $$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}$$

(cas d'une paroi simple) ..... (2)

ou

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \ldots + \frac{1}{\alpha_e}$$

(cas d'une paroi « multiple ») ..... (3)

si nous représentons par δ l'*épaisseur* d'une paroi ou d'un matériau formant une des couches d'une paroi « multiple »,

et par λ, le coefficient de conductibilité thermique du ou des matériaux constituant la paroi.

On a aussi coutume de représenter par Δ le rapport $\frac{\lambda}{\delta}$ exprimant la *perméabilité calorifique des parois*, c'est-à-dire par $\frac{1}{\Delta} = \frac{\delta}{\lambda}$ la résistance à la perméabilité calorifique.

Dans ce cas, la formule (3) devient :

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\Delta_1} + \frac{1}{\Delta_2} + \frac{1}{\Delta_3} + \ldots + \frac{1}{\alpha_e}$$

..... (4)

qui exprime la *résistance au passage de la chaleur.*

SIGNES ET NOTATIONS UTILISES

Q et q : quantités de chaleur échangée

δ (δ_1, δ_2, δ_3, ...) épaisseur en *mètres* (des différentes couches de la paroi)

λ : coefficient de conductibilité thermique de l'ensemble de la paroi en kcal/m² h °C

λ_1, λ_2 λ_3 ... λ_v λ_n, coefficients de conductibilité thermique des différentes couches ou des différents matériaux formant la paroi

α : coefficient de transmission de la chaleur entre 2 milieux (en kcal/m² h.°C) et $\frac{1}{\alpha}$ = résistance superficielle.

NOTE : Pour la signification des signes spéciaux (avec indices), se reporter aux figures illustrant le texte.

2. — Détermination du coefficient de passage k
(D'après les formules 2 et 3)

A. — Le coefficient de conductibilité thermique λ des matériaux

a une valeur moyenne relativement bien définie ; elle a été déterminée expérimentalement par de nombreux auteurs et, sans grande erreur, nous pouvons considérer les valeurs données comme exactes. La connaissance des lois auxquelles est soumis ce coefficient (pour autant que l'on puisse parler de lois) est très importante. Grosso-modo, on peut distinguer 5 facteurs principaux dont dépend le λ des corps poreux (matériaux de construction, matières isolantes) :

1) la porosité,
2) l'humidité,
3) la température,
4) la composition chimique et la structure des parties solides,
5) le mode de liaison des parties solides entre elles.

Nous n'approfondirons pas ces questions et nous nous bornerons à donner un tableau où sont reprises quelques valeurs numériques généralement admises. Les variations observées concernent des cas particuliers (fonction des 5 facteurs ci-dessus), cas ordinairement bien définis mais trop longs à reprendre ici.

Voici donc l'ordre de grandeur de ces λ, pour quelques matériaux présentant un certain intérêt en horticulture :

Matériaux	λ en k cal/ m.m².h. °C
Béton :	
Béton armé	1,3
Béton de gravier	1,1
Béton de laitier	0,5 à 0,6
Béton de pierre ponce	0,4
Bitume (carton bitumé)	0,6 à 0,12
Bois :	
protégé contre l'humidité	0,12
exposé à la pluie	0,18
sciure de bois	0,07
en plusieurs épaisseurs (une seule à la pluie)	0,15
Briques :	
maçonnerie extérieure	0,75
maçonnerie intérieure	0,60
Fonte, fer et acier	30 à 45
Liège :	
densité $<$ 250 kg/m³	0,04
densité $>$ 250 kg/m³	0,05 à 0,06
Pierres naturelles	1,5 à 2,5
Plaques isolantes : Heraklit, Tekton	0,12
Sable sec, de remplissage	0,5
Terre argileuse	0,5 à 0,8
Tourbe (sous forme de plaques)	0,05 à 0,06
Verre (3 mm ép.)	0,50 à 0,65

TABLEAU I

Valeurs du coefficient de conductibilité thermique de quelques matériaux

B. — Le coefficient de transmission (ou de convection ou d'échange superficiel) de la chaleur

L'estimation de ce coefficient est la principale difficulté que l'on rencontre dans la recherche de la valeur de k. La connaissance de ce coefficient est encore très superficielle actuellement, et très incomplète.

Et pourtant, nous allons le voir, *sa valeur a une très grande importance dans le problème qui nous occupe : en effet, dans le cas de parois excessivement minces* (films de plastic par exemple, de l'ordre du 1/10 de mm d'épaisseur), *ce coefficient a une valeur tellement élevée par rapport aux autres termes des formules 2, 3 et 4 que ces derniers peuvent souvent être négligés et que le coefficient de passage de la chaleur* k *semble dépendre uniquement des valeurs particulières de cet* α.

Toute la difficulté de calculer théoriquement les k de matières spéciales réside donc dans l'adoption d'un coefficient α relativement exact. Remarquons avec CAMMERER (réf. 1), que « ce *coefficient n'est nullement une grandeur définie ayant une signification unique*, car la valeur de la température des gaz ou fluides dont il est fonction, n'est évidemment pas la même pour tous les problèmes » ... et la notion de température d'un fluide en mouvement est très complexe.

D'autre part, la valeur de α dépend de nombreux facteurs :

1) nature et état du fluide,
2) forme et nature des parois,
3) températures du fluide et de la paroi.

D'après le même auteur que ci-dessus, il faut distinguer les 3 formes de transmission de la chaleur *(conductibilité, convection, rayonnement)* ; les deux premières sont généralement groupées en un seul facteur (α_o). Ainsi, le coefficient total de transmission de la chaleur serait, d'après

CAMMERER : $\boxed{\alpha = \alpha_o + \alpha_r}$ ... ... (5)

α_r étant le coefficient de propagation par rayonnement et α_o, celui de propagation par conductibilité et convection.

VALEURS DE α_o (coeff. propag. par conduct. et convection)

Les seules données que nous ayons pu trouver dans la littérature sont les suivantes :

1) Nusselt *cité par Cammerer* - estime que, dans le cas de la transmission de chaleur *d'une paroi à un air calme* (circulation libre), on peut

admettre, *pour une paroi verticale* : $\boxed{\alpha_o = 2{,}2 \sqrt[4]{t_s - t_a}}$ ..... (5')

si t_s : température en °C de la surface cédant de la chaleur
et t_a : température en °C de l'air ambiant.

et *pour une paroi horizontale* : $\boxed{\alpha_o = 2{,}8 \sqrt[4]{t_s - t_a}}$ ..... (5")

ce qui donne approximativement les valeurs reprises du tableau II.

Différence de T° avec l'air ambiant en °C	α_0 en kcal/m² h °C avec air ambiant calme	
	Mur vertical	Mur horizontal
5	3,4	4,2
10	3,9	5,0
20	4,7	5,9
40	5,5	7,0
60	6,1	7,8

TABLEAU II

2) *Dans le cas de l'air s'écoulant le long d'une paroi plane verticale*, Jürges donne les valeurs reprises au tableau III ci-dessous, en supposant que la température de la paroi soit 50 °C, celle de l'air 20 °C et la pression de 1 atm. abs.

Vitesse de courant en m/sec	Coefficient de transmission α_0 pour une surface	
	unie ou vernie	rugueuse
0	4,6	5,0
1	8,7	9,2
2	11,9	12,7
5	21,8	23,1
10	37,0	39,5
25	76,0	80,7

TABLEAU III (d'après Jürges)

VALEURS DE α_r (coeff. de prop. par rayonnement)

Ce coefficient est soumis aux diverses lois générales du rayonnement calorifique :

I) *loi de Kirchhoff* (le rapport du pouvoir d'émission au pouvoir absorbant pour une longueur d'onde déterminée, est le même pour tous les corps et ne dépend que de la température) ;

II) *loi de Stephan et Boltzmann (*le pouvoir d'émission d'un corps (« noir » ou « gris ») est proportionnel à la quatrième puissance de la température absolue ; le facteur de proportionnalité étant la *constante du rayonnement* (C) qui, dans le cas d'un corps noir, vaut $C_{noir} = 4{,}96$ kcal/m² h $(°C)^4$. Pour les autres corps cette constante n'atteint jamais

cette valeur et est fonction de la nature chimique du corps et de celle de sa surface extérieure.

Disons que d'après Schmidt, le coefficient de rayonnement C_v du verre vaut, si la surface de celui-ci est unie : 4,65 kcal/m² h (°C)⁴, celui du bois de chêne raboté C_B : 4,44 kcal m² h (°C)⁴ et celui de la maçonnerie de C_m : 4,0 à 4,6 kcal/m² h (°C)⁴.

Le tableau IV donne un certain nombre de valeurs de α_r pour 3 températures de l'air, et pour la constante de rayonnement 4,6 kcal/m² h (°C)⁴ (des surfaces rugueuses ordinaires) en fonction de la température du corps rayonnant :

T° de la surface rayonnante en °C	Transmission calorifique par α_r, en kcal/m² h °C pour des températures de l'air de :		
	0 °C	20 °C	40 °C
0	3,7		
20	4,2	4,6	
40	4,6	5,1	5,7
60	5,2	5,7	6,2

TABLEAU IV

Quelques valeurs des coefficients totaux α

Lorsqu'il n'est pas possible, ou pas intéressant, d'effectuer la séparation en α_0 et α_r, on peut utiliser des formules simplifiées, principalement lorsqu'il s'agit de transmission à l'air ambiant.

1) Les règlements de l'industrie allemande du chauffage central donnent les valeurs suivantes :

(D'après Hencky et Schmidt, Rietchel et Gröber)

Dans les locaux fermés, atmosphère calme :	*(3 à 30 kcal/m² h °C)*
surfaces des murs, planchers et toits, ces derniers pour une transmission de chaleur de bas en haut :	$\alpha = 7$ kcal/m² h °C
plancher et toits pour une transmission de haut en bas :	$= 5$ kcal/m² h °C
Encoignures, angles avec air stagnant :	$= 4$ kcal/m² h °C
A l'air libre ; air en mouvement :	*(10 à 500 kcal/m² h °C)*
dans les villes :	$= 20$ kcal/m² h °C
à l'extérieur des villes et dans les champs :	$= 25$ kcal m² h °C
Pour fluides en mouvement, non à l'ébullition :	*200 à 5.000 kcal/m² h °C*
Pour fluide à l'ébullition :	*4.000 à 6.000 kcal/m² h °C*
Vapeurs condensantes :	*7.000 à 12.000 kcal/m² h °C*

TABLEAU V

2) Une autre approximation du coefficient α est la suivante :

$$\alpha = f_{(v)} = a + b\,v \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (6)$$

formule dans laquelle v est la vitesse du vent
a et b sont 2 coefficients.

La vitesse du fluide (air ou gaz) est donc le facteur principal. Les échanges sont très faibles dans une ambiance calme et augmentent avec la vitesse du vent.

D'après Nüsselt, pour des surfaces planes, et en kcal/m² h °C

$$\begin{array}{lll} \textit{Surface lisse :} & \alpha_{eau} = 300 + 1800\sqrt{v} & \\ & \alpha_{air} = 4{,}8 + 3{,}4\,v & \text{si } v < 5 \text{ m/sec} \\ \textit{Surface rugueuse :} & \alpha_{air} = 5{,}3 + 3{,}6\,v & \text{si } v < 5 \text{ m/sec} \end{array} \quad \ldots \quad (7)$$

En conclusion : le coefficient de transmission et, finalement, le coefficient de passage sont d'autant plus élevés que la vitesse du fluide est grande. Le coefficient de convection (de transmission) de l'eau est très grand, celui de l'air, faible ; ce dernier limite fortement la transmission de la chaleur (principe de l'utilisation des isolants).

Avec les épaisseurs ordinaires de verre, par exemple, les inverses de transmission (résistance à la transmission) sont beaucoup plus grands que l'inverse de la conductibilité (cf. formule 3) et, comme nous l'avons dit, ce dernier rapport peut souvent être négligé.

Disons enfin que *si la vitesse du vent dépasse 5 m/sec,* on admet pour α les valeurs suivantes :

Surfaces lisses : $\alpha = 6{,}12\ v^{0{,}78}$
Surfaces rugueuses : $\alpha = 6{,}47\ v^{0{,}78}$

C. — Le coefficient général de passage : k

Etant donné le fait que le coefficient α est soumis à des variations aussi intenses, on peut se demander ce que devient le coefficient général k.

Une fois le coefficient de conductibilité λ d'un matériau déterminé avec précision, dans le cas très particulier d'un calcul il faut compter avec les variations de la valeur de α pour déterminer avec plus ou moins d'exactitude entre quelles limites varie le k de ce matériau. Cependant, on utilise généralement les valeurs obtenues en se basant sur celles que l'on admet être les plus courantes pour α ; par exemple :

5 à 7 kcal/m² h °C, à l'intérieur d'un local,
20 à 25 kcal/m² h °C, à l'air libre.

Dans ces conditions, ou plutôt dans des conditions équivalentes d'expérimentation, les coefficients suivants ont été relevés expérimentalement par divers auteurs (ce qui explique la concordance plus ou moins parfaite des valeurs).

Matériaux	k (kcal/m² h °C)
Béton de gravier :	
poids spécifique P = 1.600 kg/m³	0,72
P = 2.270 kg/m³ (10 % hum.)	1,10
P = 2.300 kg/m³ (1 % hum.)	1,04
Bois :	
tendre	0,100
dur	0,124
Chêne : p. spec. P = 610 kg/m³ séché au four	0,126
P = 610 » 15 % hum.	0,147
P = 801 » 8 % hum.	0,148
Peuplier : P = 360 »	0,077
Pin : P = 386 » — 50°	0,076
» » — 20°	0,080
» » 0°	0,083
» » + 20°	0,086
Pitchpin : P = 330 »	0,082
P = 672 »	0,128
Briques :	
pleines P = 740 - t° moy. : 20 °C - hum. : 1,2 %	0,145
P = 797 » » 6 %	0,210
creuses : t° moy. 0 °C	0,17
10 °C	0,18
20 °C	0,19
30 °C	0,20
40 °C	0,21
De plus, k varie avec le type de maçonnerie, l'épaisseur des briques et de l'enduit (car λ varie dans ces conditions).	
Fer :	
à 0 °C fondu	43,—
Fonte :	
à 0° C	74,52
à 50 °C	63,72
à 200 °C	48,96
Liège expansé :	
poids spécifique P = 104 kg/m³ : — 50 °C	0,0276
0 °C	0,0329
+ 30 °C	0,0341
P = 195 kg/m³ : — 50 °C	0,0328
0 °C	0,0362
+ 30 °C	0,0373
Pierres naturelles :	
calcaires P = 2.000 kg/m³	1,—
marbre P = 2.710 kg/m³	2,2
Plaques isolantes :	
(Heraklit) P = 350 kg/m³	0,062
Verre :	
3 mm d'épaisseur	5,76
6 mm »	5,37
Fibres de verre : ordre de grandeur	0,035

TABLEAU VI

Valeur approximative du coefficient de passage k pour quelques matériaux

3. — Conductibilité thermique du verre*

A. — Cas d'un vitrage simple

Ce cas découle directement des formules énoncées plus haut :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_v}{\lambda_v} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad \ldots (2')$$

et $\alpha = a + b\,v$ ..... (6).

Si les coefficients de convection α sont élevés (eau), l'isolement thermique croît en proportion de l'épaisseur du verre (δ).

Par contre, le coefficient de convection de l'air est faible : il limite fortement la transmission de la chaleur.

Comme nous l'avons déjà dit, avec les épaisseurs habituelles du verre, les inverses de convection sont beaucoup plus grands que l'inverse de conductibilité : ce coefficient peut être presque négligeable.

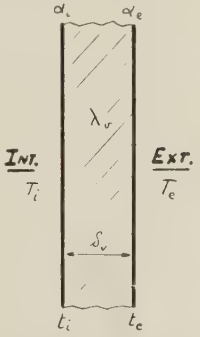


Fig. 1 — Vitrage simple (air calme et sec)

La *vitesse de l'air*, ou du fluide en général, est le facteur principal : les échanges de convection, et par conséquent, les échanges totaux, seront très faibles dans une ambiance calme. Mais ils augmentent en fonction de la vitesse du vent (formule 6).

Le cas le plus défavorable, pour un vitrage, se présente lorsque un vent violent souffle, accompagné d'une pluie battante. L'eau ruisselle sur le carreau, en mince épaisseur, et à une vitesse qui dépend de sa densité.

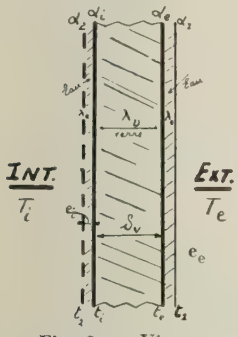


Fig. 2 — Vitrage simple (vent, pluie, condensations)

Si δ_v = épaisseur du vitrage
e = couche d'eau (due à la pluie ou à la condensation)
T_i = température dans l'enceinte
T_e = température extérieure
λ_e = coefficient conductibilité thermique de l'eau.

La paroi intérieure du vitrage est léchée par un courant de convection dont la vitesse est relativement faible.

Si la température T_i est suffisamment élevée et si la paroi du verre est à une température inférieure au point de rosée, il peut s'y produire des condensations ; nous pouvons assimiler ces gouttelettes à une mince couche stagnante d'épaisseur e_i.

(*) Nous tenons à remercier vivement M. PLUMAT, Ingénieur en Chef du Laboratoire Central de l'Union des Verreries Mécaniques belges de Gilly pour les conseils qu'il nous a donnés, ainsi que M. Maurice BOFFE du même laboratoire, pour l'aide qu'il nous a apportée, notamment en réunissant la documentation technique ayant trait au calcul de la conductibilité du verre.

Le coefficient de transmission devient, d'après M. Boffé :

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_2} + \frac{e_i}{\lambda_e} + \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_v}{\lambda_v} + \frac{1}{\alpha_e} + \frac{e_e}{\lambda_e} + \frac{1}{\alpha_1}} \quad \ldots \quad (8)$$

Dans cette équation, la signification des coefficients est la suivante :

α_2 : coefficient de transmission (convection) dans l'enceinte, peut être assez faible (= 5 généralement). Il dépend naturellement de la différence de température $(T_i - T_2)$. $\frac{1}{\alpha_2}$ est donc vraisemblablement très élevé par rapport aux autres.

$\frac{e_i}{\lambda_e}$ et $\frac{e_e}{\lambda_e}$, caractéristiques des films d'eau, ont une valeur très réduite. Ils peuvent même, souvent, être négligés.

$\frac{\delta_v}{\lambda_v}$ a une valeur faible par rapport aux inverses des coefficients de convection α_2 et α_1.

α_i : est sensiblement plus faible que α_e, car la couche d'eau condensée est stagnante ; tandis que du côté extérieur, l'eau ruisselle avec une vitesse appréciable et emporte de la chaleur. L'influence de ces deux termes est du même ordre que celle de la conductibilité du verre.

α_1 : tout en restant proportionnellement faible, est beaucoup plus élevé que α_2. Si la vitesse du vent atteint 100 km à l'heure (28 m/sec), α_1 a une valeur élevée. Dès lors, la résistance thermique du vitrage est presque diminuée de moitié.

Notons encore, que l'*évaporation* de l'eau et la *condensation* peuvent modifier sérieusement l'échange thermique, en absorbant ou en libérant de l'énergie. N'oublions cependant pas que le vent de pluie est, en pratique, saturé d'humidité.

La condensation se produit lorsque le vitrage atteint le point de rosée ; les calories alors dégagées favorisent l'échange vers l'extérieur, puisqu'elles élèvent la température du verre.

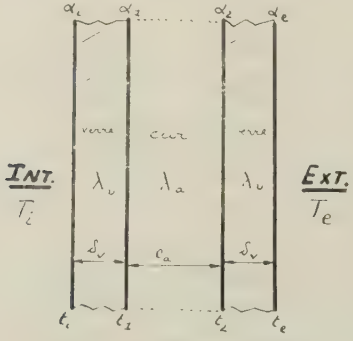


Fig. 3. — Vitrage double

B. — Cas d'un vitrage double

Les données du problème restent les mêmes.

Cependant, il faut tenir compte d'un courant de convection qui se crée entre les deux parois de verre.

Ce courant est fonction de la différence de température $t_1 - t_2$ et, finalement, de $T_i - T_e$, ainsi que des vitesses v_i et v_e du fluide de chaque côté du vitrage double.

La formule (2') dans ce cas, doit normalement prendre la forme de

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta_v}{\lambda_v} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{e_a}{\lambda_a} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta_v}{\lambda_v} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad \ldots (9)$$

Dans cette formule, on peut admettre que α_1 et α_2 soient inférieurs à α_e et même à α_i, et d'ailleurs égaux.

Si donc $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{2\,\delta_v}{\lambda_v} + \frac{e_a}{\lambda_a} + \frac{2}{\alpha} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad \ldots (10)$$

$\frac{2\,\delta_v}{\lambda_v}$ et $\frac{e_a}{\lambda_a}$ ont une faible valeur par rapport aux coefficients de convection.

C. — Comparaison entre un vitrage simple et un vitrage double

Dans le cas où les courants d'air, de chaque côté des vitrages sont relativement faibles, on peut admettre, en première approximation que la transmission de la chaleur est uniquement fonction des courants de convection thermique ; ceci est dû au fait, qu'une lame d'air est immobilisée entre les feuilles de verre.

Alors, l'échange thermique est grosso-modo diminué de moitié au travers d'un vitrage double.

Si l'on augmente la vitesse d'impact du courant d'air froid, le coefficient de convection de la paroi froide s'accroît en proportion, de même d'ailleurs, que les autres coefficients de convection, car les différences de température accélèrent sensiblement les courants de convection intérieurs.

Remarquons cependant que ces modifications sont relativement faibles.

Si la formule (9) est pratiquement exacte, et si l'on néglige les échanges par conductibilité, il est aisé d'évaluer les variations du coefficient de transmission k, en fonction de la convection sur la paroi froide.

Supposons que tous les coefficients α soient égaux et que $\frac{e_a}{\lambda_a}$ et $\frac{\delta_v}{\lambda_v}$ *soient négligeables par rapport aux autres termes du dénominateur ; alors, la formule 10/ donne :*

$$\left.\begin{array}{lll} \text{vitrage double :} & k_d = \dfrac{1}{\frac{4}{\alpha}} = \dfrac{\alpha}{4} & \\ \text{et la formule 2') donne :} & & \\ \text{vitrage simple :} & k_s = \dfrac{1}{\frac{2}{\alpha}} = \dfrac{\alpha}{2} & \end{array}\right\} \quad \ldots (11)$$

ce qui signifie que $\boxed{k_d = \frac{1}{2} k_s}$ ... ... (12)

Si, maintenant, le coefficient de convection extérieur (α_e) s'élève et devient $x \cdot \alpha$ ($x > 1$), on a :

$$\left.\begin{aligned} k_s &= \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{x\,\alpha}} = \frac{\alpha\, x}{x+1} \\ k_d &= \frac{1}{\frac{3}{\alpha} + \frac{1}{x\,\alpha}} = \frac{\alpha\, x}{3x+1} \end{aligned}\right\} \quad \ldots (13)$$

Le rapport $\frac{k_d}{k_s}$ vaut alors : $\frac{k_d}{k_s} = \frac{x+1}{3x+1}$ ... ... (14)

Et si x augmente, ce rapport diminue ; nous pouvons en déduire :

$$\boxed{\lim \frac{k_d}{k_s} = \lim \frac{x+1}{3x+1} = \pm \frac{1}{3}} \quad \ldots (15)$$

En conclusion, la transmission de chaleur au travers d'un vitrage double est approximativement moitié moindre de ce qu'elle est au travers d'un vitrage simple, **si l'air est stagnant.**

Si **sa vitesse augmente,** *l'isolement thermique s'améliore et le rapport tend vers* $\frac{1}{3}$.

L'épaisseur de la couche d'air ne paraît pas avoir une importance considérable sur l'isolement thermique.

Et cependant, si nous quittons la théorie pour étudier les résultats expérimentaux, nous voyons que, en réalité, l'épaisseur de l'air emprisonné entre deux parois de verre détermine dans une large mesure le degré d'isolation réalisé. Nous y reviendrons plus loin.

4. — Calcul théorique dans le cas des serres

Le calcul des pertes de calories au travers des parois d'une construction, quelle qu'elle soit, doit donc se baser sur les formules ci-dessus. Cependant, il est logique de faire intervenir aussi un certain nombre de *coefficients* qui tiennent compte de *pertes supplémentaires* dues à des particularités de construction. C'est ainsi qu'une porte, si parfaite soit sa construction, si isolants soient les matériaux utilisés, laissera toujours passer davantage de chaleur si elle est en service (ce qui implique des joints plus ou moins parfaits) que si elle est condamnée et si, de ce fait, les interstices ont pu être soigneusement bouchés.

Comme il n'existe, à notre connaissance, aucune norme belge fixant les modalités de calcul de chauffage (et partant, de pertes de chaleur), il nous a paru intéressant d'envisager le problème et de démontrer, par un exemple étudié convenablement, combien il importe d'en connaître davantage sur cette question.

Les normes allemandes relatives au chauffage des immeubles (V.D.I.) nous ont semblé très intéressantes : les majorations qu'elles proposent cadrent bien avec la réalité, en ce qui concerne, tout au moins, les bâtiments ordinaires (DIN n° 4701 de 1944).

Voici parmi les majorations généralement appliquées (réf. 5), celles qui sont d'un intérêt pratique en Horticulture :

Majorations pour :		Mur	Fenêtres et portes
I. Exposition	N - N-O - N-E - E O - S-O - S-E	10 % 5 %	10 % 5 %
II. Chambres avec plusieurs côtés donnant sur l'extérieur ou avec angles saillants	a) avec fenêtre ou porte donnant sur l'extérieur	5 %	10 %
	b) avec fenêtres ou portes sur plusieurs façades	5 %	25 %
III. Position des façades par rapport à la direction du vent (seulement N - N-E - et E)	a) défavorable	5 %	25 %
	b) extraordinairement défavorable	10 %	50 %

TABLEAU VII

Nous citerons uniquement pour mémoire celles concernant :

1) *le début du chauffage et l'interruption de fonctionnement*, d'un intérêt certain pour le calcul de la puissance de la chaudière et de la surface de chauffe, mais d'influence réduite sur le calcul des pertes de chaleur en cours de fonctionnement ;

2) *les locaux de grande hauteur* (supérieure à 4 m) : les serres étant généralement à peine plus hautes que cette limite, et la majoration n'étant que de 1 % par chaque 0,5 m de hauteur supplémentaire, les modifications apportées seraient d'un ordre de grandeur inférieur ou au plus égal à celui de la précision des calculs.

*
**

Les normes allemandes prévoient donc une *majoration due à l'exposition* (cas I) : elles n'admettent comme favorable, que la seule exposition Sud. Cet ajustement nous paraît vraiment judicieux et susceptible de rendre de très grands services en ce qui concerne le calcul des pertes de chaleur des serres.

Le cas II doit, lui aussi être appliqué en Horticulture, puisque aussi bien chaque serre constitue un tout, exposé aux 4 points cardinaux, et joue le rôle d'un bâtiment complet en construction civile ; le « secundo » de ce cas est donc d'application puisque portes, fenêtres et tabatières d'une serre sont réparties uniformément sur toute la surface extérieure de celle-ci.

Quant au cas III qui concerne la *position plus ou moins isolée de la construction*, il est peut-être le plus d'actualité dans l'exemple qui nous occupe : par définition, une serre (abstraction faite des constructions « adossées ») doit être disposée de telle façon que le soleil baigne de lumière l'entièreté de sa projection horizontale, à tout moment du jour. Nous pourrons cependant nous borner au paragraphe a) (« défavorable ») car il envisage les surfaces extérieures qui ne sont protégées, dans un rayon de 40 m, par aucun objet de hauteur au moins égale. Les « galeries », comme elles sont généralement conçues, c'est-à-dire disposées au Nord, ou (et) au Sud d'un complexe de serres plus ou moins rapprochées l'une de l'autre et orientées N-S., constituent un cas spécial : dans bien des cas, elles ne peuvent être considérées comme des abris suffisants contre les vents du N, N-E et E. Il en est d'ailleurs de même pour les serres faisant partie d'un complexe, ou tout au moins pour la partie vitrée de celles-ci.

(Le cas « particulièrement défavorable » est prévu pour une situation absolument isolée, sur une hauteur par exemple).

Remarques générales

Les majorations que nous venons de passer en revue peuvent sembler relativement rigides. En effet : quand se termine le cas « défavorable » et où commence le cas « particulièrement défavorable » ? C'est, on le voit, une question d'estimation : et cette dernière semble prendre une grande importance puisque l'accroissement admis passe de 25 à 50 %. En réalité, nous pensons qu'il n'en est rien : comme l'exemple numérique le mettra en relief, chaque majoration n'influence qu'une faible proportion de la surface totale et l'ensemble est ramené à une moyenne très acceptable. En fait, chaque cas est un cas d'espèce et devrait pouvoir être envisagé isolément.

Notons tout de suite que, dans l'exemple numérique du chapitre III, le *calcul basé sur les normes allemandes est supérieur de 40 % aux résultats obtenus* en utilisant la formule de base, déduite simplement de (1) ; à savoir :

Economie de combustible (en kg) : $$E_c = \frac{(k_1 - k_2)\ (t_i - t_e)\ S\ H}{P_{ic}\ \varsigma} \quad \ldots (16)$$

dans laquelle :

k_1 et k_2 représentent respectivement les coefficients de passage de la chaleur de 2 types de parois ;

t_i et t_e : les températures intérieure et extérieure

S : la surface vitrée en m^2

H : le nombre d'heures de chauffage

P_{ic} : le pouvoir calorifique inférieur du combustible

ς : le rendement de l'installation de chauffage.

Il est cependant un fait établi, c'est que les normes allemandes permettent, par calcul, d'arriver à un résultat qui serre la réalité de très près : la consommation de combustible calculée de cette manière donne une meilleure approximation des besoins réels, pour autant que le calcul soit effectué avec toute la précision désirée.

CHAPITRE III

EXEMPLE NUMERIQUE

En appliquant, avec le maximum de précision possible, le principe de calcul proposé par les normes allemandes, dont mention ci-dessus, nous avons déterminé les pertes de chaleur au travers des parois de deux serres de type standard (tableau VIII). Ces résultats sont mentionnés, en résumé dans le tableau IX.

Dimensions et caractéristiques des serres choisies comme exemples

	Serre I	Serre II
Longueur	13,50 m	13,50 m
Largeur	7 m	8 m
Hauteur au faite	4,60 m	4 m
Hauteur au pied droit	2 m	1,80 m
Maçonnerie d'élévation	0,60 m	0,60 m
Portes (2)	1,50 x 3 m 2 ouvrants	1,50 x 2,30 m simple
Orientation	N - S	N - S

TABLEAU VIII

Dans le tableau IX nous faisons, entre autres choses, mention de la vitrerie. Nous avons cru intéressant d'extraire du calcul général, ce qui

Désignation	SERRE I				SERRE II			
	Surface extérieure		Quantité de chaleur perdue		Surface extérieure		Quantité de chaleur perdue	
	m²	% du total	kcal/h	% du total	m²	% du total	kcal/h	% du total
Maçonnerie d'élévation	22,1	9,8	**330**	3,2	25	10,8	**364**	3,3
Béton armé seuil fenêtre	4,5	2,1	**77**	0,7	4,6	2	**80**	0,7
Boiseries :								
fixes	34,8	15,4	**38**	0,3	36,6	16	**37**	0,4
mobiles	7,9	3,4	**9**	0,1	5,3	2,3	**6**	0,1
Vitrerie libre								
fixe	132,5	59,1	**8.203**	75,1	140	61,4	**8.643**	78,5
mobile	23	10,2	**1.801**	16,5	17,2	7,5	**1.345**	12,3
totale	155.5	69.3	10.004	91.6	157.2	68.9	9.988	90.8
Total :	224,8	100 %			288,7	100 %		
Sol de la serre	82,6		**454**	4,1	95,8		**516**	4,7
Total général			**10.912**	100 %			**10.991**	100 %

TABLEAU IX

se rapporte aux pertes de chaleur par les vitrages, de façon à mieux fixer les idées et à ***proposer une disposition simple des calculs.***

Nous tenons à attirer tout spécialement l'attention du lecteur sur le fait que *nous avons*, contrairement à ce qui se fait pour les bâtiments ordinaires, *séparé complètement les « châssis » du vitrage lui-même, c'est-à-dire que nous avons calculé séparément les quantités de chaleur qui passent au travers des boiseries et du vitrage*, les surfaces de ce dernier étant celles qui peuvent être considérées comme effectives du point de vue transmission calorifique *(vitrerie libre)*. En d'autres termes, la portion de vitrerie qui pénètre dans la battée a été assimilée au bois lui-même. Ce faisant, nous croyons serrer la réalité de plus près, car, la surface *vitrée libre* représentant 70 % de la surface totale, nous ne pouvions admettre une approximation assez large, comme cela se fait pour un immeuble en maçonnerie.

Remarquons encore que si la vitrerie « libre » ne représente que = 70 % de la surface latérale extérieure totale, elle totalise cependant, à elle seule, et compte tenu de la surface du sol, plus de 90 % des pertes de calories de la serre !

1) Désignation	2 *k* kcal/m² °C h	3) ΔT. k k cal/m² h	4) *Surface* m²	5) Pertes de chaleur k cal/h	6) Exposition	7) Majoration: Exposition	Vent	Mur extér.	Fact. d'augment.	5) Pertes de chaleur k cal/h	8) *Quantité finale de chaleur perdue* kcal/h
Vitrerie libre											
Mobile 1) Portes	6	54	2,16	116,6	N	10	25	25	1,60	116,6	187
					S	—	—	25	1,25	116,6	146
Mobile 2) Fenêtres	6	54	4,875	263,2	E	10	25	25	1,60	263,2	421
					W	5	—	25	1,30	263,2	342
Mobile 3) Tabatières	6	54	4,50	243	E	10	25	25	1,60	243,0	389
					W	5	—	25	1,30	243,0	316
											Tot. : 1801
			P 9,25	499,5	N	10	5	5	1,20	499,5	599
			F 11,75	634,5	E	10	5	5	1,20	634,5	761
4) Autres (fixes)	6	54	T 45,25	2.443,5	E	10	5	5	1,20	2.443,5	2.932
(Pignon, Faces			P 9,25	499,5	S	—	—	5	1,05	499,5	525
			F 11,75	634,5	W	5	—	5	1,10	634,5	698
Toit)			T 45,25	2.443,5	W	5	—	5	1,10	2.443,5	2.688
											Tot. : 8203
TOTAL			155,67	8.400,6							10.004
										Total par an	87,6. 10^6 kcal

TABLEAU X

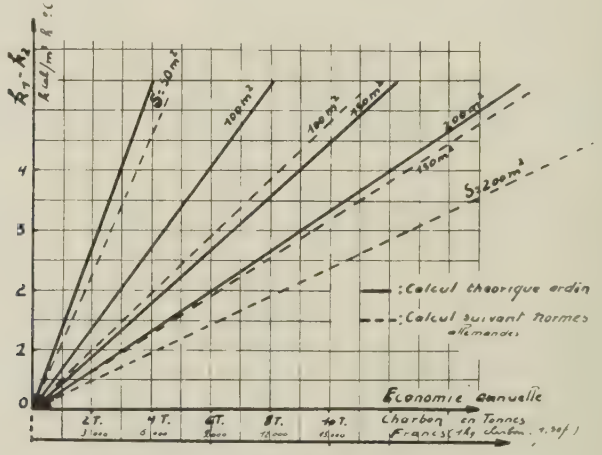
Calcul de la quantité de chaleur perdue par la surface vitrée « libre » de la serre n° I

T° moyenne annuelle de la Belgique : 9 °C — d'où — ΔT° : 18° int. - 9° ext. =9 °C (moy. annuelle utilisée pour les calculs d'économie de combustible). (Extrait d'un tableau complet reprenant tous les postes étudiés au tableau VII et non publié dans ce travail).

Analyse des résultats

1) Il ressort de cette étude que, si l'on admet grosso-modo un coefficient k = 6 pour le vitrage utilisé dans la construction de serres de dimensions « standard », on doit prévoir, uniquement par transmission de la chaleur au travers des matériaux, une perte de chaleur s'élevant à ± *11.000 kcal par heure* dans le cas des 2 serres utilisées ; plus des 0,9 de ces pertes (10.000 kcal) sont dues au faible pouvoir « isolant » du verre.

Si nous conservons les mêmes fondations, maçonnerie, boiserie, mais si, au lieu de recouvrir la serre de verre demi-double de coefficient k = ± 6 kcal/m² h °C, *nous utilisons un matériau dont le pouvoir transmissif est moitié moindre (k = 3 kcal m² h °C)*, nous réduisons par le fait même, de près de la moitié, les pertes totales par conduction-convection *ce qui* **annuellement**, dans le cas des 2 serres étudiées, *représente une* **économie de 43,8 . 10⁶ kcal**, soit pour un rendement de chaudière de 65 % et un pouvoir calorifique inférieur du combustible utilisé de 7.000 kcal kg (charbon), *un gain annuel de l'ordre de 10 TONNES de charbon*, c'est-à-dire *15.000 F*, si l'on compte le charbon à 1,50 F le kg et si l'on élimine le facteur *ensoleillement*.



Graphique 2

Ces chiffres sont donc à interpréter en fonction du nombre annuel de jours de soleil (cf. remarque ci-dessous).

Le cas des 2 serres choisies dans notre exemple correspond à une droite « *160 m² de surface vitrée* ». Nous avons généralisé dans ce graphique, de façon à rendre plus frappants les gains réalisés par simple diminution de moitié du *k* des matériaux formant toiture.

Ces résultats sont à peine croyables ! Ils frappent directement par leur valeur élevée.

Rappelons les conditions choisies pour le calcul :

— serres « standard » de 7-8 x 13,50 m.
— chauffage toute l'année, de façon à maintenir une température moyenne de 18 °C
— rendement de la chaudière élevé (0,65)
— pouvoir calorifique inférieur du combustible relativement élevé par rapport au prix de celui-ci
— T° extérieure moyenne annuelle 9 °C - climat peu ensoleillé.

Les traits interrompus du graphique 2 représentent les valeurs obtenues dans les mêmes conditions, mais sans tenir compte des augmentations mentionnées dans les normes allemandes.

L'économie réalisée par différence unitaire du coefficient de transmission *k* de la toiture est, dans ce cas, de l'ordre de 15 kg charbon/an/m²/Δ k = 1 kcal/m² h °C, alors qu'elle serait, suivant les normes précitées, c'est-à-dire compte tenu de l'orientation, etc... de 21 kg charbon/an/m²/Δ k = 1 kcal/m² h °C.

Remarque importante.

Dans cette estimation de la consommation en combustible, nous ne pouvons faire intervenir la quote-part du soleil comme source de chaleur pour la serre : elle est très malaisée à déterminer, d'une part, et d'autre part, éminemment variable : presque nulle par ciel couvert, elle atteint des valeurs insoupçonnées par temps clair, et ce, pour une même température moyenne de l'air ambiant (effet de serre...). Dans quelles proportions les chiffres obtenus sont-ils à modifier ? Nous ne pourrions le dire mais ils n'en ont pas moins de valeur, car ils constituent un ordre de grandeur...

2) Une autre conclusion s'impose : *il est indispensable de dissocier et de séparer les deux points de vue : « lumière » et « chaleur » dans les serres.*

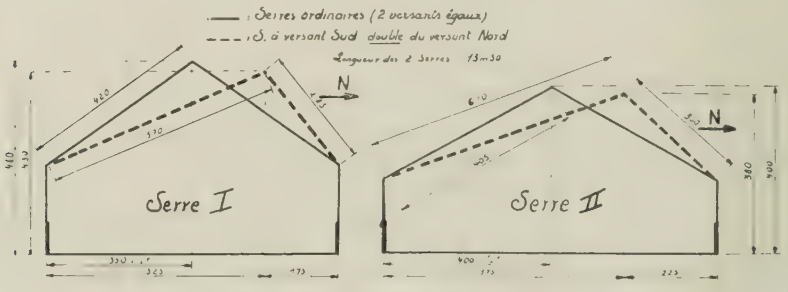
a) Si nous REMPLAÇONS, dans les serres I et II, la MAÇONNERIE D'ELEVATION (60 cm de hauteur) PAR UNE PAROI VITREE, c'est-à-dire si l'entièreté de la surface latérale au-dessus du sol est vitrée, nous portons à environ 76 % du total la surface *vitrée libre. Cette modification s'accompagne d'une augmentation des pertes de chaleur de l'ordre de 1.000 kcal. par heure.* soit près de 10 % de l'ensemble !

Il est donc opportun de bien peser le pour et le contre et de prévoir si le gain de lumière espéré représente, économiquement parlant, la contre-partie du chauffage supplémentaire qui en découle.

b) On a beaucoup parlé, ces dernières années, des serres (type anglais), à VERSANTS INEGAUX, serres « idéales » du point de vue répartition de la lumière et quantité reçue de celle-ci. Voyons si,

dans notre exemple numérique, cet avantage se double d'une économie de chauffage.

Pour ce faire, comparons les serres I et II à celles que l'on obtiendrait si, *tout en conservant la même surface de toiture*, nous répartissions celle-ci *inégalement de façon à ce que le* **versant Sud ait une surface double de celle du versant Nord.**



Grapique 3

Le tableau XI nous montre que le *fait de doubler la surface Sud, tout en maintenant le total inchangé, n'apporte aucune variation importante :* théoriquement, et en appliquant les majorations des normes allemandes, le gain réalisé ne dépasse pas 390 kcal heure, c'est-à-dire 3,5 % environ du total. Les difficultés rencontrées lors de la construction de pareilles serres (même compte non-tenu du fait que ces modèles ne se trouvent pas couramment dans le commerce) se soldent certainement par une dépense supérieure au prix du combustible épargné.

Est-ce à dire que les dites majorations allemandes ne présentent qu'un intérêt mineur ? Nous ne le croyons pas : en effet, si nous ne tenons aucun compte, dans le calcul théorique des pertes de chaleur, des différences d'exposition, ... nous aboutirons forcément aux mêmes résultats, quelle que soit l'orientation. La seule théorie proposée, admettant donc des coefficients variables, fonction de cette orientation, nous donne une différence peu sensible, certes, mais que nous ne pouvons considérer, à priori, comme étant sans valeur. Quels sont les coefficients se rapprochant le plus de la réalité ? Seules, des mesures sérieuses, effectuées dans deux serres voisines, et disposées perpendiculairement l'une à l'autre, pourraient infirmer ou confirmer l'exactitude de l'ampleur donnée, à priori, aux variations des coefficients en fonction de l'exposition.

Le même problème se pose lorsque, au lieu de doubler la surface Sud de la toiture par rapport à la surface Nord, nous envisageons directement l'*influence de l'orientation* sur les besoins en combustible : (le tableau XI nous montre aussi que la différence des pertes de chaleur entre les serres orientées N-S ou E-W excède de peu 1 % du total).

Insistons cependant sur le fait que ces majorations sont prévues pour des bâtiments dans lesquels la surface vitrée ne représente que 30 % environ de la SEULE façade ! Sont-elles d'application lorsque, comme

Désignation	SERRE N° I						SERRE N° II					
	N - S		E - W		E - W versants inégaux		N - S		E - W		E - W versants inégaux	
	k cal/h	%	k cal/h	%	k cal/h	%	k cal/h	%	k cal/h	%	k cal/h	%
Maçonnerie d'élévation . .	**330**	3,2	**327**	3,2	**327**	3,2	**364**	3,3	**369**	3,4	**369**	3,5
Béton armé (seuil des fenêtres) . . .	**77**	0,7	**75**	0,7	**75**	0,7	**80**	0,7	**79**	0,7	**79**	0,7
Boiseries :												
fixes . . .	**38**	0,3	**36**	0,3	**34**	0,3	**37**	0,4	**37**	0,4	**35**	0,4
mobiles .	**9**	0,1	**7**	0,1	**7**	0,1	**6**	0,1	**7**	0,1	**7**	0,1
Vitrerie libre :												
fixe . .	**8.203**	75,1	**8.089**	75,0	**7.841**	74,5	**8.643**	78,5	**8.529**	78,5	**8.279**	78,0
mobile . .	**1.801**	16,5	**1.780**	16,5	**1.780**	16,9	**1.345**	12,3	**1.325**	12,2	**1.325**	12,4
totale . .	10.004	91,6	9.869	91,5	9.621	91,4	9.988	90,8	9.854	90,7	9.604	90,4
Sol de la terre	**454**	4,1	**454**	4,2	**454**	4,3	**516**	4,7	**516**	4,7	**516**	4,9
Total général .	**10.912** (1)	100 %	**10.769** (2)	100 %	**10.518** (3)	100 %	**10.991** (1)	100 %	**10.862** (2)	100 %	**10.610** (3)	100 %
Différences . .	|→ (1)-(2) 143 kcal/h : 1,3 % de (1) ←|						|→ 129 kcal/ : 1,2 % de (1) ←|					
	|→ (1)-(3) 394 kcal/h : 3,6 % de (1) 3,75 % de (3) ←|						|→ 381 kcal/h : 3,5 % de (1) 3,6 % de (3) ←|					
			|→ (2)-(3) 251 kcal/h : 2,3 % de (2) ←|						|→ 252 kcal/ : 2,3 % de (2) ←|			

TABLEAU XI

Influence de l'orientation de la serre et des dimensions de ses versants

c'est le cas pour les serres, la surface « *vitre* » (libre) représente à elle seule 70 % du total ? Il convient enfin de rappeler que nous nous sommes éloigné de la ligne de conduite suivie par les architectes allemands en introduisant la notion de *vitrerie libre.*

Cette mise au point concernant l'influence de quelques-uns des facteurs qui déterminent la plus ou moins grande valeur des besoins en combustible, s'applique, nous tenons à le faire clairement remarquer, aux serres étudiées, choisies de façon à représenter le mieux possible le type classique. Elle n'est pas valable, par exemple, dans le cas des serres à vigne ordinaires, *à charpente métallique*, pour lesquelles la perte de chaleur par le verre représente une plus faible proportion du total.

Si ces serres I et II font partie d'un complexe et sont reliées soit au Nord, soit au Sud, soit à ces deux expositions simultanément d'une galerie « froide », il conviendra d'affaiblir les majorations dues à l'exposition, ou de considérer ce pignon comme paroi *intérieure* d'un bâtiment, c'est-à-dire de tenir compte du fait que le cinquième environ de la surface latérale totale est nettement moins exposé aux intempéries...

CHAPITRE IV

COMMENT DIMINUER LE COEFFICIENT DE TRANSMISSION CALORIFIQUE DU MATERIAU DE COUVERTURE ?

Autrement dit : quel genre de matériau faut-il utiliser ?

1. — Généralités

De très nombreux matériaux mis en vente ces dernières années semblent pouvoir entrer en ligne de compte. Il importe, cela ce conçoit, de choisir avec discernement et, si l'on veut, soit remplacer le verre, soit tout au moins suppléer à son pouvoir isolant défaillant, d'envisager tous les aspects du problème.

Certains des nouveaux matériaux dont il vient d'être question, de par leurs propriétés physiques, semblent se rapprocher étonnamment du verre, et même le surpasser : à un pouvoir isolant supérieur (à épaisseur identique), ils joignent un pouvoir de transmission de la lumière non seulement suffisant à première vue (en % du spectre total d'émission), mais encore qui paraît adapté aux exigences des végétaux.

N'oublions pas, cependant, que, depuis longtemps, *le verre* a fait ses preuves :

1) nous sommes censés en connaître toutes les propriétés : nos horticulteurs ont eu le temps de faire connaissance avec lui et de l'apprécier ;

2) il est fabriqué à partir de matériaux que l'on trouve, en Belgique, en quantité suffisante et à prix relativement bas ;

3) son vieillissement, comparé à celui de nouveaux produits lancés trop hâtivement sur le marché, est pour ainsi dire nul (il existe, à Paris, un Hôtel de la Place des Vosges dont les vitres ont été posées sous Louis XIII, c'est-à-dire au début du XV^me^ siècle, vitres encore en parfait état de transparence...) ;

4) enfin, il possède la propriété d'être transparent aux rayons Infrarouges courts du soleil et de retenir les I.R. longs réémis par les objets de la serre échauffés par l'absorption des I.R. courts solaires: il confère ainsi, à l'enceinte qu'il délimite, la possibilité de voir sa température s'élever dans une plus large mesure, sous l'influence des rayons solaires, que si cette enceinte était recouverte d'un autre matériau (= *effet de serre*).

Avant d'opter pour un matériau nouveau, essayons d'en posséder une connaissance suffisante, multiplions les essais avec matériel vivant : voyons-en la vitesse de vieillissement, et surtout, envisageons sainement le *point de vue économique.*

Le but de l'exemple numérique du chapitre III était de démontrer que, dans une serre standard, où l'on veut maintenir 18 °C toute l'année, et pour autant qu'aucun renforcement de la charpente ne soit nécessaire, *il est possible d'amortir en 3 ans la pose d'un matériau coûtant près de 250 F le m²* (soit plus de *150 F* de plus que le verre ordinaire), rien qu'en tablant sur l'économie de chauffage réalisé par le fait que ledit matériau possède un *k* de valeur égale à la moitié de celle du même coefficient chez le verre.

Lorsqu'il est nécessaire de renforcer la charpente, la dépense supplémentaire est relativement basse : un renforcement de 10 % est amplement suffisant dans le cas qui nous occupe, et ne représente que 8 à 16 % du prix total de la serre ; dans ce cas, l'amortissement des sommes ci-dessus s'effectue en moins de 4 ans.

Il va sans dire que l'augmentation de l'importance des capitaux immobilisés lors de la construction de la serre est la pierre d'achoppement du système préconisant, en vue d'une économie très nette de combustible, l'emploi d'un matériau très coûteux (4, 5, 8, même 10 fois le prix d'une simple feuille de verre).

D'après un devis réalisé pour les serres I et II de notre exemple numérique, les frais supplémentaires dus à l'utilisation d'un matériau coûtant 200 F par m² en plus que le verre, représentent, en effet, un accroissement de prix de revient de 24 % dans le 1^er^ cas (serre I) et de 20 % dans le second.

Ajoutons que les charpentes de beaucoup de serres construites en Belgique peuvent supporter, sans danger, un accroissement de surcharge correspondant à l'utilisation d'un matériau 3 fois aussi lourd par unité de surface que le verre demi-double.

Cela ne signifie pas que les plus grands espoirs ne soient permis à celui qui posséderait un matériau égal au verre (ou supérieur à celui-ci) *mais beaucoup plus léger que ce dernier.*

2. — Le verre

1. — La première possibilité qui s'offre à nous pour diminuer le k du verre couramment utilisé en horticulture est... d'*augmenter l'épaisseur de celui-ci.*

En utilisant des vitrages de 6 mm (au lieu de 3 mm), nous abaissons le coefficient de transmission de 5,75 à 5,37 kcal m² h °C, sans, pour cela, atteindre un prix de revient double pour le vitrage.

Cette amélioration, si faible semble-t-il, nous permet cependant d'économiser, dans le cas étudié plus haut, *plus d'une tonne de charbon par an* (900 kg si l'on ne tient pas compte des majorations des normes allemandes, et 1.200 kg dans l'autre cas).

Par le seul jeu du gain réalisé sur le combustible, il nous est possible d'amortir les frais supplémentaires en 7 à 8 ans suivant le cas.

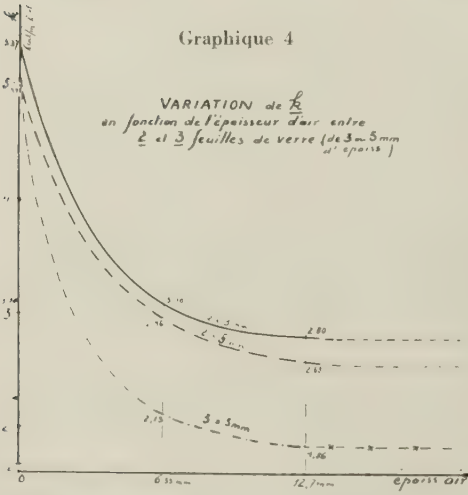
2. — *Si les deux feuilles de verre* (3 mm) que nous avions supposées ci-dessus, étroitement accolées, pour n'en former qu'une seule, d'épaisseur double, *sont* maintenant *séparées l'une de l'autre par un espace d'air*, le gain de chaleur réalisé s'accroît en flèche.

Voici, en bref, le principe des doubles vitrages.

Etude des doubles vitrages

Puisque l'air est l'isolant par excellence, y a-t-il une limite au gain réalisé sur le k en augmentant la distance séparant les feuilles de verre ?

Graphique 4



Par curiosité, nous avons reporté sur un graphique les différentes valeurs de k pour les vitrages doubles, en fonction de l'épaisseur d'air emprisonné entre les feuilles de verre (*).

Nous avons extrapolé certaines de ces valeurs de façon à remédier au manque de données précises, et avons enfin relié les points ainsi obtenus par des arcs de parabole, à ceux correspondant à une feuille de verre d'épaisseur double de celle utilisée dans les doubles vitrages.

Dans le cas particulier des mesures du k, repris dans ces catalogues, l'ensemble présente l'aspect du graphique 4, ci-contre.

(*) Les chiffres figurant sur le graphique 4 ont été repris du catalogue publié par les Firmes « GLAVER » et « UNIVERBEL ».

Il ne nous appartient pas de faire ici la théorie des vitrages doubles ; cependant, étant donné l'intérêt de ce problème en horticulture, nous avons fait part des résultats (du graphique 4) aux services compétents de plusieurs Firmes de verre.

Ceux-ci ont bien voulu confirmer le fait que l'augmentation continue de la couche d'air entre les deux feuilles de verre n'est pas suivie indéfiniment par une diminution progressive du coefficient k de l'ensemble.

D'après ces Services, à un moment donné, correspondant à une épaisseur d'air d'environ 1/2 pouce (12.8 mm) le k atteindrait une valeur qui resterait constante, ou à peu près, malgré toute augmentation ultérieure de l'épaisseur d'air emprisonné. On admet donc que les courbes se prolongent suivant les traits mixtes du graphique 4.

Cependant, en se basant sur la théorie des mouvements laminaires et turbulents, on pourrait se demander si ce k, au lieu de se contenter de rester stationnaire à partir d'une certaine épaisseur d'air, ne « réaugmente » pas, conséquence du transport moléculaire de calories d'une paroi à l'autre du double vitrage.

Nous laisserons le soin de répondre à cette question aux Firmes intéressées, en constatant que seules des mesures expérimentales pourront donner au problème sa solution exacte.

Conductibilité thermique de couches d'air verticales

HENCKY a introduit une notion de « *coefficient d'équivalence de conductibilité des gaz* » qui tient compte des trois sortes d'échange de chaleur et *représente*, en fait, le *coefficient de conductibilité thermique du corps qui, substitué à une couche d'air donnée, permet, pour une même épaisseur, un passage identique de la chaleur.* Le coefficient d'équivalence de conductibilité de l'air est donc la somme algébrique du coefficient de conductibilité réel de l'air, du coefficient de convection de l'air et du coefficient de transmission due au rayonnement :

$$(\lambda_a = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \quad \ldots \ldots (17)$$

a) Le *coefficient de conductibilité réel de l'air* aurait, d'après Cammerer, les valeurs suivantes, en kcal/m.m² h °C :

$\lambda_1 =$	0,0204	à 0 °C
	0,0216	20 °C
	0,0227	40 °C
	0,0238	60 °C.

b) Le *coefficient de convection de l'air* est encore très mal connu. Dans le cas qui nous occupe, nous croyons pouvoir l'estimer à $\lambda_2 = 0{,}12$ kcal/m.m² h °C (d'après la littérature).

c) *Quand au coefficient de transmission dû au rayonnement*, il dépend des lois énoncées à ce sujet et prend la forme d'un produit

$$\boxed{\lambda_3 = a.\ \delta.\ C} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots (18)$$

dans lequel :

a est un « *facteur de température* » d'expression fonction de la 4me puissance de la température absolue : ses valeurs sont données dans des tableaux spéciaux ;

δ est l'épaisseur de la couche d'air, et

C est une constante de l'échange de rayonnement entre 2 surfaces parallèles, tenant compte des constantes de rayonnement de chacune de ces surfaces :

(4,96 kcal/m² h (°C)⁴ pour 1 corps noir,
4,65 » le verre,
4,61 » la brique,
0,25 » l'aluminium).

La valeur de C est approximativement de *4,1* kcal/m² h (°C)⁴ si *les 2 parois parallèles* ont une constante de rayonnement de 4,5 kcal m² h (°C)⁴ ce qui est valable, en première approximation, pour une maçonnerie double comme pour une double paroi de verre.

Elle répond à la forme : $$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_n}} \quad \ldots (19)$$

dans laquelle C_1, C_2 et C_n sont respectivement les constantes de rayonnement des 2 parois et du corps noir. Cette formule exprime le rayonnement échangé entre 2 surfaces parallèles suffisamment voisines l'une de l'autre par rapport à leur développement en longueur.

Exemple : Quel est le coefficient d'équivalence de conductibilité d'une couche d'air de 6 mm (et 6 cm) emprisonnée entre 2 feuilles de verre, respectivement aux températures 10 et 20 °C ?

La formule $\lambda_a = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$ ... ... (17)
donne :

λ_a (6 mm) = 0,0213 + 0,12 + 0,954 . 0,006 . 4,1 = 0,1648 kcal m.m² h °C
λ_a (6 cm) = 0,0213 + 0,12 + 0,954 . 0,06 . 4,1 = 0,3764 kcal m.m² h °C

En conséquence, une couche d'air placée entre 2 matériaux ne saurait remplacer une couche de matières isolantes (le liège possède un $\lambda = 0.04$ kcal/m.m² h °C).

Il y a un intérêt certain à diviser une couche d'air de 10 cm par exemple en 10 couches de 1 cm. Toute la théorie des isolants découle de ces considérations.

*
**

Disons encore que la résistance calorifique $\frac{1}{k}$ rapportée au mètre carré, d'une lame d'air, dépend de son épaisseur en mètres (d'après le Manuel de ventilation) :

Lames d'air	Verticales	Horizontales
Si épaisseur :		
$< e < 0{,}20$ m . . .	0,20	0,25
$e = \pm 0{,}02$ m . .	0,18	0,23
$e = \pm 0{,}01$ m . .	0,16	0,19
$e < 0{,}01$ m . . .	0,10 à 0,05	

Voici encore quelques précisions qu'a bien voulu nous donner M. Plumat (Directeur du Laboratoire Central de la firme Univerbel) concernant les :

Courants thermiques dans les vitrages doubles

Avant d'en aborder l'étude, rappelons toute l'importance de cette question. Dans un vitrage double, l'air n'est certainement pas immobile. Sous l'influence des différences de température des deux parois, s'établissent des courants « thermiques » ascendants le long de la paroi chaude, passant (forcément) de cette paroi à celle appelée paroi froide puis descendant le long de cette seconde paroi. Il se crée donc, logiquement, des transports de chaleur d'une face vers l'autre. Cependant, si tout se passe lentement, calmement (mouvement laminaire), l'échange de calories est relativement faible. Mais si, pour un motif ou pour un autre (nous verrons que ce *motif* est, en réalité, une trop forte épaisseur d'air emprisonné entre les parois vitrées), le mouvement cesse d'être laminaire et devient turbulent, des molécules d'air passent directement de la paroi chaude à la paroi froide, sans suivre le mouvement établi, et créent ainsi une déperdition plus grande de chaleur.

L'aspect des courants thermiques dépend au premier chef de l'épaisseur de la couche d'air.

Fig. 4

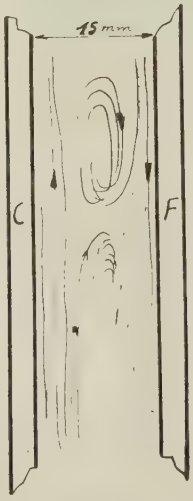


Fig. 5

Les fig. 4 et 5 représentent les courants au *fond* et au *milieu* d'un vitrage VERTICAL de *15 mm* d'épaisseur d'air. Nous pouvons remarquer que dans le fond, l'avance du courant n'est pas symétrique. A mi-hauteur, les couches centrales sont le théâtre de perturbations continuelles : le courant ascendant s'inverse et crée des tourbillons rapides qui

montent assez vivement entre les deux courants parallèles. La plupart des tourbillons naissent à une hauteur de ± 20 cm (du bas), puis s'étirent vers le sommet.

Nous voyons ainsi que l'échange gazeux *principal* (entre la paroi chaude et la paroi froide) qui parcourt le périmètre complet est accompagné d'échanges *secondaires* qui influencent fortement le régime thermique.

Le régime d'un vitrage retenant *9 mm* d'air est fort peu différent de celui qui nous venons d'étudier.

Il y a déjà moins de tourbillons dans un vitrage de *6 mm*, ce qui permet d'y mieux distinguer les courants ascendants et descendants.

Enfin, d'après le même chercheur, on ne distingue plus de tourbillons dans un vitrage double immobilisant *3 mm* d'air : l'écoulement, bien que rapide, est laminaire.

Les phénomènes qui se passent dans les vitrages HORIZONTAUX sont du même ordre, mais présentent moins d'intérêt pour nous, en Horticulture.

La conclusion la plus importante à tirer de ce qui précède est qu'il y a une limite certaine à l'augmentation de la distance devant séparer 2 parois de verre pour obtenir un pouvoir isolant maximum, et que cette limite est bien plus basse que l'on ne croit généralement (6-12 mm au lieu de 6-10 cm !).

Comment réaliser ces vitrages doubles en horticulture ?

Disons immédiatement que la solution la plus parfaite à ce problème est donnée par les firmes mettant en vente, sous divers noms, des doubles vitrages scellés de façon à emprisonner un volume déterminé d'air sec, ce qui évite condensations et maculations internes. Le seul inconvénient de ces « volumes » est peut-être... leur prix élevé. Cependant, nous devons les considérer comme l'*idéal* à atteindre dans nos essais horticoles...

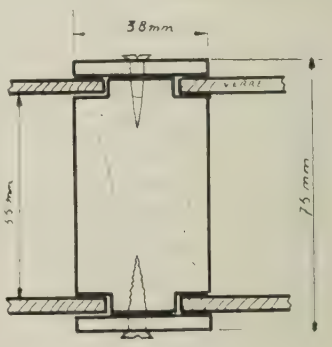


Fig. 6

A l'heure actuelle, il n'existe aucun autre procédé vraiment simple — et efficace — permettant de placer, sans trop de difficultés, de doubles feuilles de verre sur les toitures des serres. Il est plus ou moins aisé de recouvrir les surfaces *verticales* de ces constructions de deux feuilles de verre : il suffit de les disposer, de part et d'autre des montants en bois, dans une encoche jouant le rôle de battée, puis de les fixer par des languettes de bois immobilisées par des vis (cf. fig. 6).

Mais dès qu'il s'agit de recouvrir, de la même façon, la *toiture* d'une double feuille de verre, le problème se complique. C'est d'ailleurs le motif avoué pour lequel l'usage de doubles vitrages est relativement courant pour les surfaces verticales mais constitue une exception dans le cas de parois inclinées ou horizontales.

Le problème des doubles vitrages se définit de la façon suivante : *immobiliser, entre deux feuilles de verre, un volume d'air déterminé, de telle sorte que le coefficient de transmission calorifique de l'ensemble soit aussi faible que possible ; d'autre part, une étanchéité rigoureuse s'impose, car toute rentrée d'air ultérieure serait la cause directe de l'apparition de condensations sur les faces internes du volume et du « salissement » plus ou moins rapide de ces mêmes faces intérieures.*

Le constructeur, désireux cependant de trouver une solution peu coûteuse, est donc amené à parfaire de plus en plus le degré d'étanchéité de ces vitrages, ce qui implique automatiquement l'utilisation de procédés dont le prix de revient croît plus rapidement que l'efficacité.

*
**

Nous voudrions, en terminant cette étude, mentionner les résultats d'essais que nous avons effectués en 1954 pour mettre en évidence la valeur relative de quelques types de vitrage (*).

Nous avons, entre autres, utilisé les types de « parois vitrées » suivantes :

type A : verre 3 mm d'épaisseur, posé sans mastic

type A' : même vitrage, posé avec mastic.

type C : double paroi formée de 2 feuilles de verre demi-double, posées à même la battée, *sans mastic* et séparées l'une de l'autre par une couche d'air de 3,5 mm d'*épaisseur*, obtenue au moyen de lattes en bois interposées, le tout fixé par des languettes de bois.

type D : double paroi formée comme le type C mais avec utilisation de mastic. Enfin

type E : volumes commerciaux « doubles vitrages » avec air sec (cf. plus haut).

Pour matérialiser les différences dans la température, obtenues sous des abris constitués par ces types de vitrage, nous avons établi la « *somme de température* », ou somme des températures moyennes pondérées, calculée pour la durée d'une culture déterminée.

(*) Le verre, matériau de construction en horticulture. *Bull. Inst. agr. et Stat. de Rech. de Gembloux*, XXII, 1-2, 1954.

Voici les chiffres totaux obtenus, après 45 jours :

Type de vitrage	Σ T°	de A	
Air sous abri (extér.)	287°		
Types A et A' + verre martelé	428	100	Δ : 14
Type C (double paroi sans mastic)	488	114	
Type D (double paroi avec mastic)	521	124	Δ : 10
Type E (double paroi commerciale)	559	130	Δ : 6

TABLEAU XII

Ce tableau nous paraît très expressif.

a) Tout d'abord, *il nous semble logique que les différences entre vitrages simples posés AVEC ou SANS mastic ne soient pas significatives:* lorsque la pose s'effectue avec soin, sur un matériel neuf et lui-même d'exécution parfaite, un vitrage non mastiqué ne peut guère désavantager l'enceinte qu'il recouvre, au point de vue température. Le fait est bien connu et d'utilisation courante dans beaucoup de nouvelles serres et de warenhuizen. Seule, l'étanchéité à l'eau peut, dans ces conditions, ne pas donner entière satisfaction,

b) Plus intéressante nous paraît *la comparaison des doubles parois C (sans mastic), D (avec mastic) et E (commerciales). Le type C présente déjà une amélioration sensible par rapport au vitrage simple*, mais a l'inconvénient de voir rapidement s'accumuler des quantités assez importantes d'eau dans sa partie la plus basse (pour les parois obliques, surtout), pour autant que l'on ne puisse prévoir une gouttière d'évacuation de cette eau. (Notons cependant que cette gouttière risque de jouer le rôle de porte d'entrée aux poussières qui viendront souiller les parois internes du double vitrage).

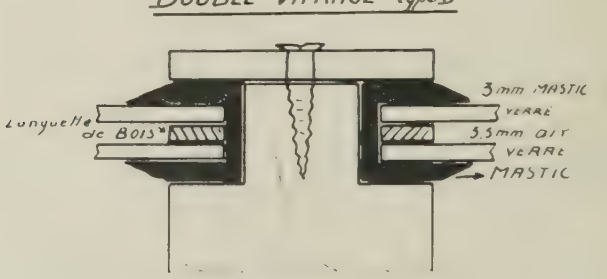


Fig. 7

Le *type D* (fig. 7) démontre, lui, que le *seul fait de mastiquer soigneusement les deux feuilles de verre nous amène*, du point de vue calorifique, plus qu'à *mi-chemin entre ce vitrage C et les doubles vitrages commerciaux*.

L'air emprisonné est de cette façon soustrait, dans une plus large mesure, à l'influence extérieure et les courants d'échange avec l'extérieur très réduits. Les résultats pratiques doivent donc tout naturellement se rapprocher de ceux que l'on obtient par calcul, en admettant une étanchéité parfaite des doubles vitrages, c'est-à-dire, en fait, de ceux que nous donnent les volumes commerciaux. Par rapport à ces derniers, les types D présentent le grand avantage d'un prix de revient de l'ordre de ½ à ⅓ de celui des *types E*. Cette considération nous permet d'envisager, économiquement, une remise en état et un nettoyage consciencieux des doubles parois tous les 5 ans environ. Ce laps de temps n'est pas arbitraire : en effet, nous avons « monté » ces volumes D, sans aucune aptitude manuelle spéciale, en 1954 ; après 3 ans d'exposition aux intempéries, ils sont encore relativement *très propres* (certainement plus que la plupart des vitrages simples qui recouvrent les serres ou couches de bien des horticulteurs...). Signalons d'ailleurs que les types C n'exigent même pas encore, à l'heure actuelle, un nettoyage urgent: seul un léger film de poussière s'est introduit entre les vitrages, film cependant plus conséquent que dans le cas du type D.

Disons encore que, dans la pratique, pour autant que le mastic utilisé soit de première qualité, il est encore malléable au moment où un nettoyage s'impose, et que, si des condensations « internes » apparaissent dans les vitrages doubles, leur inconvénient est moindre dans le cas d'une serre que dans celui d'une maison d'habitation : l'ennui majeur est l'absorption d'une fraction des I.R. par la vapeur d'eau.

3. — Matières plastiques

Depuis quelques années, les matières plastiques font l'objet de nombreux essais pratiques, en vue de leur introduction en Horticulture : cellophane, acétate de cellulose, acétobutyrate de cellulose, chlorure de polyvinyle, chloracétate de polyvinyle, butyral polyvinylique, polyéthylène, polystyrène, polyacrylate, polyamide... etc... ont fait peu à peu leur apparition et leurs applications horticoles ne se comptent déjà plus : emballages de fruits ou légumes, plus ou moins travaillés, feuilles de revêtement (rigides ou non), revêtements protecteurs de récipients à produits corrosifs, écrans contre vapeur d'eau, *panneaux isolants*...

C'est surtout la dernière utilisation citée que retiendra notre attention.

On s'est très vite aperçu que pour que ces matières puissent être utilisées en complément ou remplacement du verre, leur transparence aux rayons lumineux était de toute première importance. Et à ce point de vue, nous devons remarquer que les derniers progrès réalisés sont sensationnels : on trouve, actuellement, sur le marché, des feuilles (films)

plastiques de très faibles épaisseur (0,1 mm et même moins) que l'on peut caractériser à première vue de *parfaitement transparents.*

Si de tels efforts sont faits dans ce sens, c'est que les matières plastiques, même sous la forme de films très minces (de l'ordre du 1 10 de mm) se sont avérées posséder des propriétés isolantes remarquables.

Etant donné que l'adoption par les horticulteurs de ces matières d'introduction récente doit se faire très prudemment et surtout en fonction des résultats *pratiques* obtenus dans les nombreux centres de recherches qui se passionnent pour ce problème, nous nous bornerons ici à résumer la question par un exemple non moins pratique, qui illustrera ce chapitre et montrera l'aspect le plus parlant de l'utilisation de ces matières en temps qu'appoint pour le verre.

Un horticulteur a reconnu que le seul fait d'avoir doublé intérieurement ses serres de films plastiques lui a permis, non seulement de réduire de ⅓ sa consommation annuelle de charbon, mais en plus de gagner 12 à 17 jours sur la date de récolte des tomates qu'il a cultivées. Cette précocité accrue s'est traduite, l'année dernière, par l'obtention d'un prix moyen supérieur de *6 F par kg* pour l'ensemble de ses ventes, ce qui, dans son exploitation d'une vingtaine de serres « doublées », a correspondu à un bénéfice supplémentaire d'environ 80.000 F, compte non-tenu de l'économie de combustible.

Voilà bien un aspect du problème : malheureusement, nous ne pouvons encore généraliser ; *maints déboires* nous ont été contés... Soyons donc très prudents dans l'utilisation de ces produits et suivons les directives données par les chercheurs.

*
**

Le POINT DE VUE ECONOMIQUE de l'utilisation des matières plastiques est assez curieux. Il nous semble que nous ne puissions envisager ce problème de la façon habituelle et qu'il nous faille renverser la conception traditionnelle. Plusieurs spécialistes de la question de l'introduction des matières nouvelles en horticulture (nous citerons : *M. Soyeur*, Ingénieur Agronome A.I.Gx, de Saint-Germain-en-Laye (France), et *M. Linden*, Assistant à la Station d'Amélioration des Plants Fruitiers et Maraîchers de Grand Manil (Gembloux), nous ont d'ailleurs convaincu de l'intérêt que peuvent présenter ces substances pour la masse des horticulteurs « moyens » (c'est-à-dire ceux qui ne peuvent, au départ, immobiliser d'importants capitaux) et ce, même lorsque l'opération semble anti-économique à première vue, et qu'elle l'est d'ailleurs, strictement parlant... Expliquons cet apparent paradoxe.

M. Linden a démontré, chiffres à l'appui, que dans le cas des cultures avancées du fraisier, par exemple, un bilan couvrant une période de 10 ans n'est pas particulièrement à l'avantage du « plastic » : *des différences assez sensibles parfois* (et fonction de la nature et de l'épaisseur des films utilisés) *peuvent se marquer en faveur du verre.* Mais, malgré cette apparente non-rentabilité des matières nouvelles par rap-

port au verre (ou tout au moins leur coût plus élevé, étant donné leur vieillissement fort rapide), le cultivateur peut être amené, et avec raison, à faire usage des substances synthétiques pour remplacer le verre, *car les frais de premier établissement sont nettement moins élevés* et les dépenses occasionnées sont réparties plus uniformément sur les années d'utilisation.

M. Soyeur, lui, affirme que grâce à ces substances plastiques, les cultures les plus rentables (la forcerie...) ne seront plus réservées à ceux des horticulteurs qui peuvent immobiliser, du jour au lendemain, de forts capitaux, mais que les cultivateurs de toute condition pourront avancer ou retarder leurs cultures suivant les exigences du moment et ainsi, réaliser de meilleurs prix.

Cela nous rapproche curieusement du système de vente à crédit, fort en vogue actuellement et permettant une jouissance immédiate de l'objet « de ses rêves » grâce au fait que les payements seront étagés et, partant, plus faciles à supporter. N'est-on pas d'accord, dans ce cas, de donner un prix supérieur à la valeur intrinsèque du produit ?

Economiquement parlant, cette façon de faire est souvent inadmissible. *Mais cependant, elle se défend parfaitement lorsque la dépense supplémentaire rend possible la réalisation d'un bénéfice accru ;* dans ce cas, le bilan, général cette fois, devient nettement positif...

REMARQUE. — Nous savons que les aspects du problème du plastique en horticulture sont nombreux et variés. Mais nous avons voulu nous en tenir uniquement à ceux concernant l'utilisation des matières plastiques comme matériau venant renforcer le verre ou même parfois se substituer à lui.

CONCLUSIONS

Les circonstances actuelles mettent à l'ordre du jour la question d'économie de combustible ; dans le cas des serres, le sens le plus large est donné à l'expression, car la perfection de construction de ces bâtiments laisse nettement à désirer dans bien des cas.

Outre les économies réalisables par la simple amélioration de l'étanchéité des serres (joints, vitres brisées, etc...) d'autres sont à envisager dans la majorité des exploitations.

Sans vouloir étendre notre étude aux nouveaux matériaux dont certains nous semblent cependant très méritants, nous avons tenu à démontrer que les économies réalisées sont parfois tellement importantes qu'elles compensent, à elles seules et en deux ou trois ans, l'augmentation des frais de départ. Si ceux-ci paraissent parfois exorbitants, ils n'en laissent pas moins de pouvoir être amortis très rapidement (voir doubles vitrages, même commerciaux).

D'autres mesures destinées à réaliser un gain de chauffage semblent par contre, sans aucune utilité pratique (orientation, ...).

Le problème est loin d'être résolu. Peut-être l'avenir, en démontrant que de nouveaux matériaux ne contrecarrent pas la croissance des plantes, nous réserve-t-il d'agréables surprises dans le domaine de la construction des serres...

Enfin, dans le cas de couches et serres non chauffées, l'utilisation de matériaux plus isolants peut se défendre, économiquement parlant, soit par le gain de précocité obtenu pour la récolte, soit par l'augmentation du rendement à l'époque normale de récolte.

REMERCIEMENTS

Nos vifs remerciements vont à MM. les Professeurs Blanjean et Corin pour les conseils judicieux qu'ils ont bien voulu nous donner, ainsi qu'à M. Lecrenier qui nous a permis d'utiliser deux des serres de sa station comme référence pour nos exemples numériques. Toute notre gratitude est acquise à MM. Plumat et Maurice Boffé, du Laboratoire Central d'Univerbel et à M. Jeanjean de la Firme Glaver, auprès desquels nous avons reçu un accueil très aimable.

BIBLIOGRAPHIE

(1) CAMMERER, J. S. : Les procédés employés dans l'industrie contre la déperdition de la chaleur et du froid - Paris et Liège (Béranger).

(2) HENCKY, K. : Technisch-wirkschaftliche Zukunftsaufgaben in der Wärmeschutztechnik - *Arch. Wärmewirtsch.* 1927.

(3) HÜTTE : Manuel de l'Ingénieur - Libr. polytechn., Béranger, Paris et Liège.

(4) NUSSELT, W. : Der Wärme übergang im Rohr - *Z. v. d. I.* 1917.

(5) RIETSCHEL et GRÖBER : Traité théorique et pratique de chauffage et de ventilation - Libr. Polytechn. Béranger, 1948.

(6) ROMIEE, M. : Chauffage et ventilation (tome III du Traité de technique sanitaire) - Libr. Polytech. Béranger, Paris et Liège, 1926.

(7) RUSSELL, A. DODGE : Fluid Mechanics - *Mac Graw-Hill Book Cy, N.-Y.* London 1937.

(8) X. : Manuel de ventilation - Gauthier-Villers, Paris, 1951.

LABORATOIRE FORESTIER DE L'ETAT

La teneur en eau des tiges de peupliers euraméricains en Belgique

par

P. ROOSEN

SOMMAIRE

I. Introduction ... 179
II. Matériel d'essai ... 180
III. Mode opératoire ... 181
1. Mode de prélèvement ... 181
2. Etude de la répartition des teneurs en eau ... 181
3. Expression des résultats ... 182
IV. Teneurs en eau ... 182
A. Teneurs moyennes ... 182
B. Répartition des teneurs ... 187
a) suivant l'orientation ... 187
b) dans le sens transversal ... 189
c) dans le sens longitudinal ... 194
V. Conclusions ... 195

I. — INTRODUCTION

La Commission Nationale du Peuplier a chargé de l'étude de la gélivure chez cette essence une sous-commission composée de M. le Professeur émérite A. POSKIN et de M. P. FLON, Inspecteur des plantations à l'Union Allumettière.

Dans le cadre des travaux effectués sous les auspices de ce groupe d'étude, nous avons eu l'occasion de procéder à des déterminations de la teneur en eau des tiges de peuplier sur pied.

Cette analyse avait pour but d'établir si la propension que possèdent certains sujets à se gêliver est corrélative de la quantité ou de la répartition de l'eau contenue.

Néanmoins, le problème a été envisagé dans un sens plus large et les résultats sont interprétés au point de vue général, cette étude se justifiant à plus d'un titre.

Nous tenons à exprimer ici notre sincère gratitude à M. le Professeur émérite A. POSKIN qui a bien voulu revoir ce texte.

II. — MATERIEL D'ESSAI

Les prélèvements ont été effectués au cours des années 1952, 1953, 1954, 1955 et 1956, dans différentes régions du Pays, sur 40 tiges d'essai appartenant au groupe des *Populus x euramericana* dont les *P.* « *robusta* », *P.* « *regenerata* », *P.* « *serotina* » et *P.* « *marilandica* ». Ce matériel a été collationné dans des peupleraies de l'Union Allumettière à Blaesveld (environs de Willebroek) et à Ellignies-Sainte-Anne (environs de Belœil), dans le domaine de l'Œuvre Nationale de l'Enfance à Dongelberg (environs de Jodoigne) et dans l'arboretum de l'Institut agronomique à Gembloux.

Dans le texte suivant, le n° d'ordre des tiges d'essais est affecté d'un indice B, D, E ou G correspondant à l'initiale de la station d'origine.

TABLEAU 1

Provenance du matériel

Origine	Indice	Région	Année de plantation	Circonf. moyenne à 1,50 m
Blaesveld . .	B	Zone sablonneuse	1939	78 cm
Dongelberg . .	D	Zone limon. brabançonne		
Peupleraie expérimentale .	D_1	Idem	1936	107 cm
Nouveau Bois	D_2	Idem	postérieure	91 cm
Ellignies . .	E	Zone limon. hennuyère	1932	102 cm
Gembloux . .	G	Zone limon. hesbignonne		
Arboretum . .	G_1	Idem	1933	83 cm
Etangs . . .	G_2	Idem	1934	155 cm

Les arbres analysés se répartissent comme suit quant à leur nombre, variété et origine.

TABLEAU II

Composition du matériel

Origine	Indice	Nombre de pieds par variété				Totaux
		P. « robusta »	P. « regenerata »	P. « serotina »	P. « marilandica »	
Blaesveld	B	5				5
Dongelberg	D_1	4	10	2	2	18
»	D_2	3		–	–	3
Ellignies .	E	3	1	—		4
Gembloux	G_1	3	–	—	2	5
»	G_2	—	2	3	—	5
Totaux		18	13	5	4	40

III. — MODE OPERATOIRE

1. Mode de prélèvement

La mesure de la teneur en eau se fait sur des échantillons prélevés à la tarière de Pressler, qui permet de retirer du tronc une carotte de 5 mm de diamètre et de 25 cm de long. On opère radialement et perpendiculairement à l'axe du tronc de telle sorte que l'éprouvette représente sensiblement le rayon du fût.

Sur les arbres qui ont été abattus au moment du contrôle, les échantillons ont été prélevés par sciage.

2. Etude de la répartition des teneurs en eau

a) *suivant l'orientation*

En règle générale, les prélèvements sont effectués à l'orientation sud. En raison de l'insolation, cette exposition paraît la plus sujette à des écarts de température dont l'importance serait susceptible d'influencer la valeur des teneurs en eau du bois.

Sur certaines tiges cependant, les essais portent sur deux ou quatre orientations en vue de les comparer sous ce rapport.

b) *dans le sens transversal*

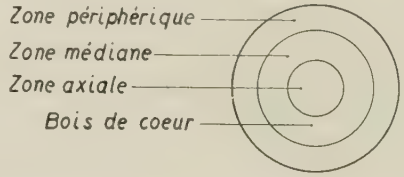
Dans le plan transversal, la répartition des teneurs en eau est étudiée en divisant l'éprouvette en trois parties égales dont on mesure les taux

d'humidité respectifs. La longueur de l'éprouvette correspond au rayon du fût. C'est-à-dire qu'à un niveau donné, les taux d'humidité mesurés sur chacune des fractions, correspondent donc aux teneurs moyennes de la tige dans les trois régions suivantes :

— une zone axiale de rayon égal au $\frac{1}{3}$ du rayon du fût ;

— une zone médiane concentrique de cette zone et de largeur égale au $\frac{1}{3}$ du rayon ;

— une zone périphérique concentrique de la zone précédente et de largeur égale au $\frac{1}{3}$ du rayon.



La zone axiale et la zone médiane forment le bois de cœur dont le rayon est égal aux $\frac{2}{3}$ du rayon du fût.

c) *dans le sens longitudinal*

Les prélèvements sont exécutés à différents niveaux par rapport au sol soit aux niveaux I, II et III respectivement à 30, 200 et 400 cm du sol.

Sur certaines tiges, les contrôles n'intéressent que les niveaux inférieurs.

3. Expression des résultats

Les teneurs en eau sont exprimées en % du poids sec suivant la formule $H = \frac{Ph - Po}{Po} \times 100$ dans laquelle, Ph représente le poids de l'échantillon au moment du prélèvement et Po le poids du même échantillon après séchage à 105 °C jusqu'à l'obtention du poids constant. Ce mode de calcul, appliqué au bois vert, conduit à des taux très élevés, le plus souvent supérieurs à 100 % : il paraît néanmoins le plus logique puisqu'il se rapporte à l'expression courante de ces valeurs aussi bien au point de vue scientifique qu'au point de vue commercial.

IV. — TENEURS EN EAU

A. — Teneurs moyennes

Le tableau III donne, pour chacune des variétés, les valeurs individuelles des teneurs moyennes de tous les peupliers analysés à différentes époques de l'année.

TABLEAU III

Teneurs moyennes en eau des peupliers à des époques diverses

Date de prélèvement	P. « robusta »		P. « regenerata »		P. « serotina »		P. marilandica »	
	N°	Teneur	N°	Teneur	N°	Teneur	N°	Teneur
30-10-1952	1 B*	164,29						
	2 B	156,88						
	3 B*	159,60						
	4 B	169,84						
	5 B*	166,98						
12-11-1952	6 E*	158,71	9 E	185,26				
	7 E*	153,94						
	8 E	143,66						
4- 3-1953	1 D_1	196,76	5 D_1	216,27	3 D_1	222,56	17 D_1	171,30
	2 D_1	194,22	6 D_1	232,07	4 D_1	238,05	18 D_1	210.46
	11 D_1	153,02	7 D_1	199,37				
	12 D_1	161,89	8 D_1	206,65				
	19 D_2*	166,96	9 D_1	211,11				
	20 D_2*	169,65	10 D_1	254,35				
	21 D_2	172,36	13 D_1	242,31				
			14 D_1	212,66				
			15 D_1	235,51				
			16 D_1	215,40				
18- 7-1953	3 G_1	143,61	9 G_2	182,71	7 G_2	147,96	1 G_1	96,18
	4 G_1	123,30	—		8 G_2	172,58	2 G_1	136,60
	5 G_1	115,17			10 G_2	179,50		
27- 7-1954	3 G_1	155,37	9 G_2	213,38	7 G_2	172,18	1 G_1	111,98
	4 G_1	138,38	11 G_2	183,54	8 G_2	163,66	2 G_1	161,78
	5 G_1	147,40			10 G_2	197,26		
25- 2-1955	3 G_1	185,96	9 G_2	205,18	7 G_2	176,29	1 G_1	161,27
	4 G_1	198,01	11 G_2	170,97	8 G_2	202,83	2 G_1	212,46
	5 G_1	175,49			10 G_2	215,51		
25- 3-1955	3 G_1	152,95	9 G_2	190,80	7 G_2	173,84	1 G_1	173,96
	4 G_1	181,72	11 G_2	160,34	8 G_2	182,66	2 G_1	218,35
	5 G_1	163,88			10 G_2	187,46		
25- 4-1955	3 G_1	164,43	9 G_2	217,26	7 G_2	171,83	1 G_1	175,27
	4 G_1	174,78	11 G_2	177,34	8 G_2	182,90	2 G_1	174,51
	5 G_1	151,16			10 G_2	192,09		
16- 6-1955	3 G_1	183,70	9 G_2	202,34	7 G_2	174,60	1 G_1	153,43
	4 G_1	174,64	11 G_2	147,83	8 G_2	187,68	2 G_1	188,24
	5 G_1	183,08			10 G_2	194,38		
25- 7-1955	3 G_1	149,21	9 G_2	191,41	7 G_2	154,85	1 G_1	128,49
	4 G_1	166,85	11 G_2	162,61	8 G_2	169,05	2 G_1	177.43
	5 G_1	152,45			10 G_2	197,73		
10-10-1955	3 G_1	123,21	9 G_2	176,23	7 G_2	148,36	1 G_1	103,23
	4 G_1	157,18	11 G_2	135,57	8 G_2	150,63	2 G_1	151,98
	5 G_1	113,02			10 G_2	170,41		
25- 1-1956	3 G_1	163,55	9 G_2	209,60	7 G_2	172,14	1 G_1	121,78
	4 G_1	209,80	11 G_2	176,68	8 G_2	185,45	2 G_1	178,64
	5 G_1	151,84			10 G_2	178,65		

* N.B. L'astérisque marque les arbres gélivés.

Interprétation

1. En général

Au point de vue général et par rapport aux autres espèces, la teneur globale en eau est élevée. Pour l'ensemble des tiges d'essai, indépendamment de la variété ou de l'époque de l'année, la teneur moyenne est de l'ordre de 174 % avec des valeurs extrêmes de 96 et 254 %.

Les teneurs moyennes données par BURGER (2 à 6) sont : pour l'épicéa 136 %, pour le pin sylvestre 88 à 200 % et pour le chêne 80 %.

2. Variété

Sur le plan variétal, les teneurs en eau se répartissent comme indiqué au tableau IV. Les valeurs y sont données pour les tiges groupées en lots de même variété et de même origine à différentes époques de l'année.

TABLEAU IV

Teneurs moyennes en eau des peupliers à des époques diverses par groupes de même variété et de même origine

Date de prélèvement	Origine	P. « robusta »	P. « regenerata »	P. « serotina »	P. « marilandica »
30-10-1952	B	163,52			
12-11-1952	E	152,10	185,26		
4- 3-1953	D_1	173,88	222,02	227,73	184,39
4- 3-1953	D_2	169,66	—	—	—
18- 7-1953	G	127,36	182,71	166,68	116,39
27- 7-1954	G	147,05	198,46	177,70	136,88
25- 2-1955	G	186,49	188,08	198,21	186,86
25- 3-1955	G	166,18	175,57	181,32	196,16
25- 4-1955	G	163,46	197,30	182,27	174,89
16- 6-1955	G	180,47	175,08	185,55	170,84
25- 7-1955	G	156,17	177,01	173,88	152,96
10-10-1955	G	131,14	155,90	156,47	127,60
25- 1-1956	G	175,06	193,14	178,75	150,21
Teneur moyenne de la variété . . .		161,40	196,76	181,48	157,72

Dans l'ensemble, la teneur en eau est la plus élevée pour le *P.* « *regenerata* » et le *P.* « *serotina* ». En moyenne, le *P.* « *serotina* » est légèrement moins humide que le *P.* « *regenerata* ». Par contre, le *P.* « *robusta* » et le *P.* « *marilandica* » accusent des teneurs du même ordre de grandeur, mais moins importantes que celles des premières variétés.

3. Station

A l'examen des valeurs données dans les tableaux III et IV, on peut constater que les facteurs du milieu ont une influence déterminante sur la teneur en eau.

Les peupliers qui ont crû en terrain plus humide ont, pour une même variété et à la même époque de l'année, une teneur moyenne plus élevée.

Par exemple, les *P. « robusta »* d'indice B, en sol humide, accusent des taux d'humidité plus élevés que ceux d'indice E en sol frais, ou ceux d'indice G en sol plus filtrant.

Dans le même ordre d'idées, la comparaison des valeurs contrôlées sur les mêmes tiges à un an d'intervalle (peupliers d'indice G pendant les étés 1953 et 1954) montre que, pour l'année 1954, une pluviosité abondante à cette époque, entraîne un relèvement général des teneurs moyennes.

TABLEAU V

Teneurs moyennes des tiges à quatre époques de l'année

Epoque de l'année	P. « robusta »	P. « regenerata »	P. « serotina »	P. « marilandica »
	a) pour toutes les stations			
Janvier - Février .	180,78	190,61	188,48	168,54
Mars - Avril . . .	168,72	197,73	193,28	185,15
Repos de la végétation	172,53	207,13	191,59	178,50
Juin - Juillet . .	152,76	183,40	175,95	144,27
Octobre - Novembre	151,57	165,69	156,47	127,60
Activité de la végétation	152,19	178,09	172,06	140,93
	b) pour une seule station (G)			
Janvier - Février .	180,78	190,61	188,48	168,54
Mars - Avril . . .	164,82	186,44	181,80	185,52
Repos de la végétation	172,80	188,52	185,14	177,03
Juin - Juillet . .	152,76	183,40	175,95	144,27
Octobre - Novembre	131,14	155,90	156,47	127,60
Activité de la végétation	148,44	177,29	172,06	140,93

4. Epoque de l'année

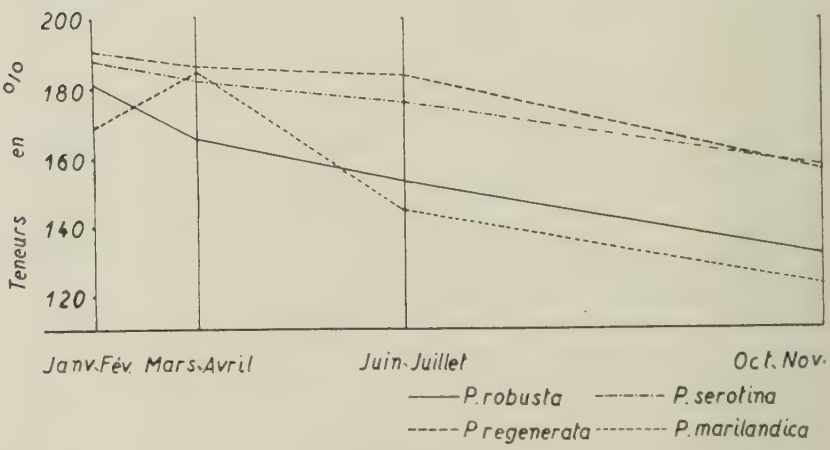
Le tableau V groupe les teneurs par variétés à quatre époques de l'année soit pendant le repos de la végétation (janvier-février), avant le départ de la végétation (mars-avril), en pleine végétation (juin-juillet) et en fin de végétation (octobre-novembre).

Comme cela ressort de l'examen des données du tableau V, l'époque de l'année influe également sur la teneur en eau. Les teneurs moyennes sont nettement plus faibles pendant la période d'activité de la végétation que pendant son repos. Le fait se vérifie pour les quatre variétés dans chacune des stations.

Qu'il s'agisse de l'ensemble des stations ou d'une seule, les teneurs moyennes contrôlées au début de l'année, soit de janvier à avril, sont plus élevées que les valeurs relevées en juin-juillet et surtout en octobre-novembre, c'est-à-dire que la teneur moyenne décroît du début à la fin de l'année. L'amplitude de la variation est plus conséquente chez la variété à teneur moyenne plus faible.

Le diagramme 1 illustre cette fluctuation des teneurs moyennes pour les quatre variétés examinées dans une même station d'origine (G).

DIAG. 1. — Fluctuation saisonnière des teneurs moyennes des quatre variétés



5. Gélivure

Quant aux sujets atteints de gélivure (B 1, 3, 5, E 6, 7, D_2 19, 20), ils accusent, en moyenne, des teneurs sensiblement analogues à celles des arbres non gélivés (B 2, 4, E 8, D_2 21) de même variété et choisis côte à côte (voir tableau VI).

TABLEAU VI

Teneurs moyennes des tiges de P. « robusta » gélivés et non gélivés

Origine	B	E	D
Tiges gélivées	163,62	156,82	167,86
Tiges non gélivées . .	163,36	143,66	172,36
Différence	+ 0,26	+ 13,16	— 4,50

B. — Répartition des teneurs

L'étude de la répartition des teneurs appelle une remarque préliminaire. Des différences d'humidité d'un point de la tige à l'autre peuvent résulter de causes diverses et notamment de certains facteurs analysés au chapitre précédent. Mais des anomalies de structure imputables à la croissance ou à une cause extérieure peuvent influer sur la teneur en eau du bois. C'est pourquoi, il convient de ne considérer comme significatives que des différences largement suffisantes.

a) *Répartition des teneurs suivant l'orientation*

Seuls les peupliers d'indice E ont été analysés sous ce rapport. Le tableau VII condense les résultats obtenus.

TABLEAU VII

Teneurs moyennes en eau aux différentes orientations

Orientation	6 E	7 E	8 E	9 E
Est . . .	—	—	152,98	194,82
Sud . .	158,71	153,94	143,66	185,26
Ouest . .	—	—	152,48	191,82
Nord . .	150,38	146,25	154,59	185,24

On peut conclure de l'examen de ces données que les tiges analysées *(P. « robusta »* et *P. « regenerata »)* ne présentent pas de différence sensible entre les teneurs en eau aux différentes orientations.

TABLEAU VIII

Teneurs moyennes dans les différentes zones de répartition

Variété - Epoque	Origine	Teneurs en eau					
		du fût	de la zone axiale	de la zone médiane	du bois de cœur	de la zone périph.	de la zone périph. en % du cœur
P. « robusta »							
Janvier - Février . .	G	180,78	195,55	205,60	200,57	141,18	70,39
Mars - Avril . . .	D_1	174,89	178,46	188,60	183,53	157,62	85,88
Mars - Avril . . .	D_2	169,66	177,24	189,94	183,59	141,80	77,24
Mars - Avril . . .	G	164,82	167,67	192,00	179,83	134,80	74,96
Juin - Juillet . . .	G	152,76	164,65	181,92	173,29	111,72	67,63
Octobre - Novembre .	B	166,76	185,98	185,26	185,62	129,04	69,52
Octobre - Novembre .	E	155,31	183,73	177,44	180,58	104,77	58,02
Octobre - Novembre .	G	131,14	136,11	173,09	154,60	84,21	54,47
P. « regenerata »							
Janvier - Février . .	G	190,61	242,59	194,29	218,44	134,95	61,78
Mars - Avril . . .	D	220,91	216,91	238,79	227,85	207,04	90,87
Mars - Avril . . .	G	186,44	226,08	197,02	211,55	136,22	64,39
Juin - Juillet . . .	G	183,40	235,35	189,20	212,28	125,66	59,20
Octobre - Novembre .	E	192,86	200,23	253,86	227,04	124,47	54,82
Octobre - Novembre .	G	155,90	212,44	171,36	191,90	83,88	43,71
P. « serotina »							
Janvier - Février . .	G	188,48	191,07	204,38	197,73	169,99	85,97
Mars - Avril . . .	D	222,56	230,64	240,40	235,52	196,66	83,50
Mars - Avril . . .	G	181,80	181,49	202,32	191,91	159,54	83,13
Juin - Juillet . . .	G	175,95	186,87	203,85	195,23	137,14	70,24
Octobre - Novembre .	G	156,47	161,82	199,26	180,54	108,32	60,00
P. « marilandica »							
Janvier - Février . .	G	168,54	169,97	182,92	177,44	152,74	86,08
Mars - Avril . . .	D	171,30	182,58	181,96	182,27	149,38	81,96
Mars - Avril . . .	G	185,53	171,20	210,03	190,61	175,35	91,99
Juin - Juillet . . .	G	144,28	151,52	163,15	157,34	118,14	75,08
Octobre - Novembre .	G	127,60	152,12	148,40	150,26	82,30	54,77
Toutes variétés							
Janvier - Février . .	G	182,61	198,50	198,44	198,47	150,89	76,03
Mars - Avril . . .	G	178,38	184,20	199,71	191,96	150,62	75,41
Juin - Juillet . . .	G	163,66	181,48	185,97	183,73	123,36	67,14
Octobre - Novembre .	G	142,98	162,29	175,66	168,97	90,99	53,85

b) *Répartition des teneurs dans le sens transversal*

Le tableau VIII condense les résultats obtenus pour l'ensemble des plans horizontaux. Il s'agit de valeurs moyennes par groupes de tiges analysées à la même époque de l'année soit pendant le repos de la végétation (janvier-février), peu avant le départ de la végétation (mars-avril), en pleine végétation (juin-juillet) et en fin de végétation (octobre-novembre).

Les valeurs y sont données pour chacune des variétés et stations d'origine et ensuite pour le peuplier, c'est-à-dire la moyenne des quatre variétés dans une seule station. Comme cela a été décrit au mode opératoire, les valeurs figurent pour les zones axiale, médiane et périphérique. De plus, les teneurs des zones axiale et médiane sont groupées en une moyenne bois de cœur. Les teneurs de la périphérie y figurent aussi en valeur relative par rapport aux teneurs du bois de cœur.

Interprétation

1. En général

A l'examen des chiffres du tableau VIII, on constate que, dans l'ensemble, les teneurs en eau se répartissent comme suit dans les trois zones envisagées. La teneur est la plus faible dans la zone périphérique, la plus élevée dans la zone médiane et légèrement inférieure à la teneur de cette dernière dans la zone axiale.

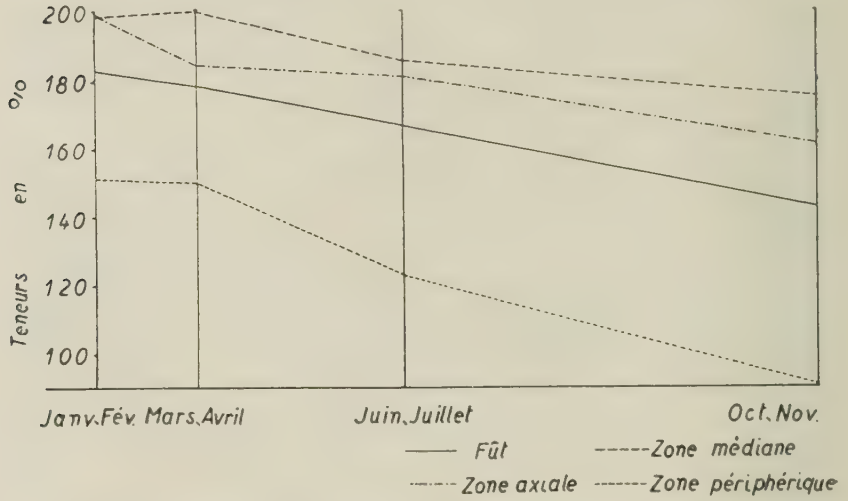
Le fait signalé par Lenz (8) selon lequel le peuplier comporte un anneau d'eau à la périphérie du cœur, corrobore cette conclusion. En effet, la zone médiane, telle que nous l'envisageons, correspond approximativement à la partie externe du cœur brun ou faux cœur du peuplier.

Ce mode de répartition ressort nettement aussi de l'examen du diagramme 2 qui montre la fluctuation des teneurs moyennes du fût, des zones axiale, médiane et périphérique suivant l'époque de l'année, pour l'ensemble des peupliers analysés dans une même station d'origine.

L'écart entre les teneurs des zones axiale et médiane est faible alors que l'écart entre ces valeurs et la teneur en périphérie, est considérable. En effet, si nous rapportons à 100 la teneur moyenne du fût, les teneurs exprimées en % de cette valeur sont : 108 % pour la zone axiale, 113 % pour la zone médiane et 79 % pour la zone périphérique. La teneur en périphérie représente en moyenne 72 % de la teneur du bois de cœur (zones axiale et médiane).

Le fait que la périphérie soit considérablement moins humide que le cœur, est assez déconcertant par rapport aux autres espèces. Qu'il s'agisse de l'épicéa, du pin sylvestre, du chêne ou du hêtre (2 à 6), l'aubier ou la périphérie des bois non différenciés est toujours plus humide que le cœur ou la partie centrale. Quoiqu'il en soit, ce mode

DIAG. 2. — Fluctuation saisonnière des teneurs en eau dans les différentes zones de répartition (moyenne de l'ensemble des tiges d'une même station G)



de répartition se vérifie pour tous les peupliers analysés, indépendamment de la variété, de la station d'origine, de l'époque de l'année ou de l'endroit de prélèvement dans l'arbre.

2. Variété

Sur le plan variétal, le mode de répartition analysé ci-dessus se vérifie dans l'ensemble. Les quatre variétés se présentent de façon analogue (voir tableau VIII et diagramme 3) à l'exception toutefois du *P.* « *regenerata* » d'indice G dont la zone axiale accuse des teneurs supérieures à celles de la zone médiane. Toutefois les *P.* « *regenerata* » d'indice E ou D présentent un mode de répartition du type général avec teneurs maxima localisées en zone médiane. Par contre, le mode de répartition du *P.* « *robusta* » est particulièrement régulier et assimilable à la moyenne des quatre variétés analysées.

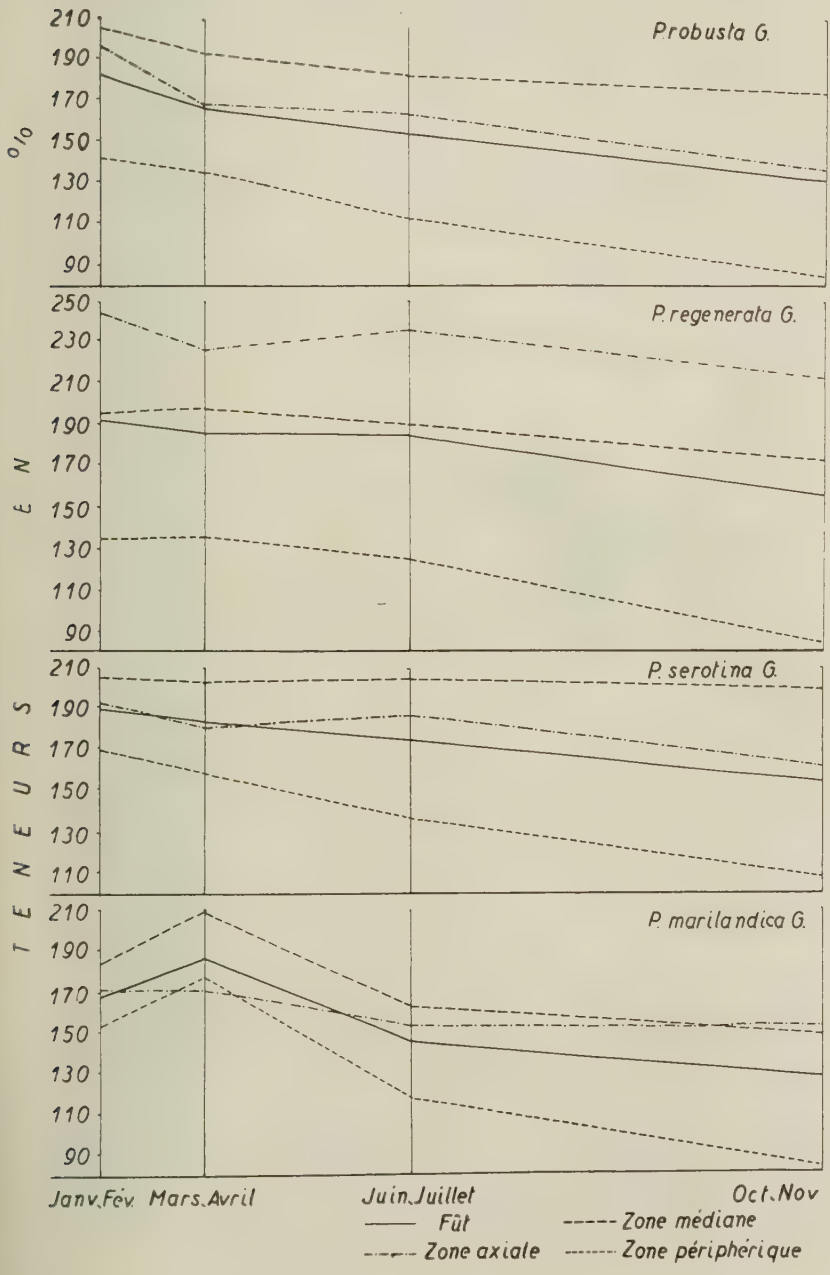
3. Station

Le mode de répartition ne varie pas avec la station d'origine. Seule fluctue l'importance relative des teneurs en fonction de la teneur globale. Lorsque cette dernière s'accroît, en raison notamment de l'humidité du milieu, la répartition tend à être plus uniforme c'est-à-dire que l'écart entre les teneurs de la périphérie et du cœur diminue.

4. Epoque de l'année

Au vu des données du tableau VIII et des diagrammes 2 et 3, une première constation s'impose : la variation imputable à la saison inté-

DIAG. 3. — Fluctuation saisonnière des teneurs en eau dans les différentes zones de répartition des quatre variétés



resse l'entièreté du fût. Les teneurs respectives des trois zones de répartition fluctuent dans le même sens que la teneur moyenne dont nous avons analysé la variation antérieurement. C'est-à-dire que les teneurs de chacune des zones décroissent de l'hiver à l'automne.

A l'échelle décroissante des teneurs moyennes du fût correspond une échelle décroissante des teneurs de chacune des zones. Mais la réduction est nettement plus importante en périphérie. En effet, les réductions de teneur en eau, exprimées en % des teneurs du début de l'année, sont, en moyenne, de 22 % pour le fût, 18 % pour la zone axiale, 11 % pour la zone médiane, soit 15 % pour le bois de cœur et enfin de 40 % pour la périphérie.

Le tableau IX montre pour l'ensemble des variétés et pour chacune d'elles, l'importance relative de ces réductions qui y sont exprimées en valeur absolue ainsi qu'en % des teneurs au début de l'année.

TABLEAU IX

Réduction des teneurs en eau du début à la fin de l'année

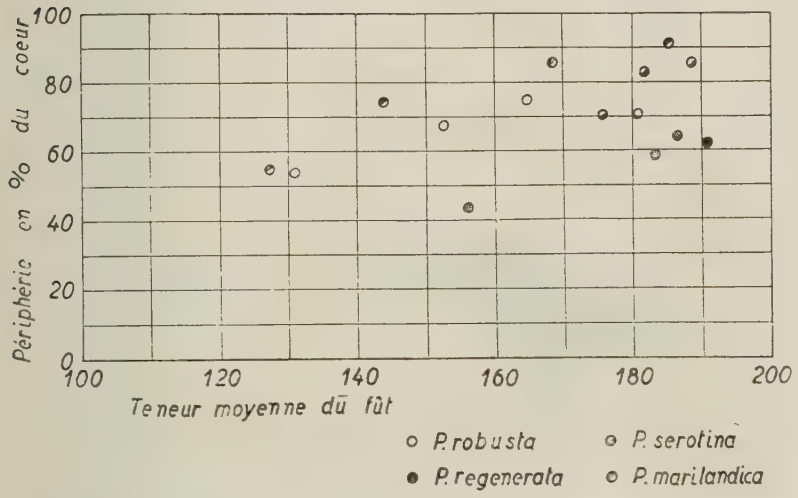
Variétés	Fût		Zone axiale		Zone médiane		Cœur		Zone périphérique	
	Valeur absolue	En % teneur début de l'année	Valeur absolue	En % teneur début de l'année	Valeur absolue	En % teneur début de l'année	Valeur absolue	En % teneur début de l'année	Valeur absolue	En % teneur début de l'année
P. « robusta » . . .	49,64	27,46	59,44	30,40	32,51	15,81	45,97	22,92	56,97	40,35
P. « regenerata » .	34,71	18,21	30,15	12,43	22,93	11,80	26,54	12,15	51,07	37,84
P. « serotina » . .	32,01	16,98	29,25	15,31	5,12	2,51	17,19	8,69	61,67	36,28
P. « marilandica »	40,94	24,29	17,85	10,50	34,52	18,87	27,18	15,32	70,44	46,12
Toutes variétés . .	39,63	21,70	36,21	18,24	22,78	11,48	29,50	14,86	59,90	39,70

On peut en conclure que, pour l'ensemble des variétés, la réduction est maximum dans la zone périphérique, minimum dans la zone médiane et moyenne dans la zone axiale, soit en raison inverse de l'importance relative des teneurs dans ces différentes zones.

Cette conclusion s'applique aussi à chacune des variétés en particulier. Le *P.* « *marilandica* » accuse cependant une réduction plus importante en zone axiale qu'en zone médiane. Néanmoins, les variations des teneurs du bois de cœur et de la zone périphérique sont du même ordre que celles des autres variétés.

Au tableau VIII figurent les valeurs du rapport teneur de la périphérie et teneur du bois de cœur. La zone périphérique contient, en moyenne et indépendamment de la variété ou de la saison, 72 % de la teneur du cœur avec des valeurs extrêmes de 92 et 44 %. Le diagramme 4 illustre la dispersion des valeurs de cette proportion aux différentes saisons pour les quatre variétés de la même station.

DIAG. 4. — Distribution des valeurs du rapport des teneurs de la périphérie et du bois de cœur en fonction de la teneur moyenne du fût



La dispersion des valeurs de la proportion relative des teneurs de la zone périphérique et du bois de cœur montre que ce rapport grandit en fonction de l'augmentation des teneurs du fût. C'est-à-dire que l'écart entre les teneurs du bois de cœur et de la périphérie se creuse de plus en plus à mesure que décroît la teneur moyenne en raison de l'époque de l'année. Cette corrélation n'existe que dans les limites de la variété.

5. Gélivure

Quant à la répartition transversale de l'humidité chez les sujets gélivés, elle ne diffère pas sensiblement de celle des sujets non gélivés au moment du prélèvement. Dans le premier cas, la proportion relative périphérie et centre est de 66 % et dans le second cas 68 %.

c) *Répartition des teneurs dans le sens longitudinal*

En raison du fait que les prélèvements n'intéressent que la base du tronc sur une hauteur maximum de 4 m, les résultats sont insuffisants pour fixer l'allure d'une courbe de répartition longitudinale des teneurs en eau dans le fût. Il est néanmoins permis d'interpréter les résultats obtenus.

Sur les tiges d'indice B et E, les prélèvements ont été exécutés à trois niveaux par rapport au sol, soit : en I à 30 cm, en II à 200 cm et en III à 400 cm du sol. Les résultats sont condensés dans le tableau X.

TABLEAU X

Répartition longitudinale des teneurs dans les tiges d'indice B et E (prélèvements d'arrière saison)

Niveau	Teneurs moyennes			
	du niveau	de la zone axiale	de la zone médiane	de la zone périphérique
I	170,56	192,52	199,37	119,80
II	161,12	181,13	181,18	121,08
III	154,71	167,18	184,95	112,99
	Différences exprimées en % des teneurs du niveau I			
II-I	5,53	5,92	9,12	—1,07
III-I	9,29	13,16	7,23	5,68

Ces résultats bien que limités (analyse de 9 tiges) permettent de constater que la teneur en eau décroît du bas vers le haut. Pour ces deux groupes de tiges, la réduction est en moyenne de l'ordre de 5 % du niveau I au niveau II et de 9 % du niveau I au niveau III. La réduction est la plus accentuée dans les zones axiale et médiane alors que, dans la zone périphérique, la variation est plus faible voire négative du moins jusqu'au niveau II.

Pour les autres tiges, l'analyse n'intéresse que les niveaux I et II : le tableau XI donne les différences de teneurs entre ces niveaux pour tous les peupliers d'essai. Elles sont chiffrées par rapport aux teneurs du niveau de base en % de ces dernières.

Ces données confirment les premières constatations, à savoir que la teneur moyenne en eau décroît du bas vers le haut de la tige. Seul, le *P.* « *regenerata* » se singularise par une répartition inverse de celle de l'ensemble des autres variétés.

La réduction de teneur moyenne résulte de la variation des teneurs du bois de cœur (zones axiale et médiane) puisque, dans l'ensemble, on enregistre pour la zone périphérique un relèvement des taux du bas vers le haut.

TABLEAU XI

Teneurs en eau aux différents niveaux pour toutes saisons et stations

Variété	Niveau	Teneurs moyennes			
		du niveau	de la zone axiale	de la zone médiane	de la zone périphérique
P. « robusta » . .	I	168,05	182,81	201,17	119,92
	II	154,46	163,64	173,38	126,36
	II-I en % I	8,09	10,49	13,81	—5,37
P. « regenerata » .	I	176,03	226,55	173,45	128,09
	II	206,68	228,39	233,51	158,15
	II-I en % I	—17,42	—0,81	—34,63	—23,47
P. « serotina » . .	I	186,92	196,42	215,94	148,40
	II	172,02	175,42	192,95	147,66
	II-I en % I	7,97	10,69	10,65	0,50
P. « marilandica » .	I	159,92	164,34	182,67	132,75
	II	155,54	158,14	170,94	137,92
	II-I en % I	2,74	3,77	6,42	—3,89
Pour toutes variétés	I	173,16	192,32	195,89	131,20
	II	170,18	179,37	190,67	140,55
	II-I en % I	1,72	6,73	2,66	—7,13

Quant à l'influence de la station ou de l'époque de l'année sur ce mode de répartition, elle ne ressort pas nettement des résultats obtenus. La fluctuation paraît faible, les écarts les plus marqués sont enregistrés au début de l'année soit de janvier à avril.

D'autre part, en ce qui concerne les sujets gélivés, ils ne présentent pas de différence sensible quant à la répartition longitudinale des teneurs par rapport aux sujets non gélivés. La réduction des teneurs du niveau I au niveau II est, en moyenne, de 4,60 % pour les premiers et 4,48 % pour les seconds.

V. — CONCLUSIONS

1. En général

La teneur en eau du bois de peuplier sur pied est élevée par rapport à celle des autres espèces ligneuses. Elle est en moyenne de 174 % avec des valeurs extrêmes allant de 96 à 254 %.

Dans la tige, elle ne varie pas suivant l'orientation, mais fluctue dans le sens transversal et dans le sens longitudinal.

Dans le sens transversal, les teneurs se répartissent comme suit : la teneur est la plus faible dans la zone périphérique et la plus élevée dans la zone médiane et légèrement inférieure à la teneur de cette dernière dans la zone axiale.

C'est-à-dire qu'à l'inverse de la plupart des espèces, la périphérie est moins humide que le bois de cœur. La teneur de la périphérie représente en moyenne 72 % de la teneur du bois de cœur.

D'autre part, la teneur moyenne en eau décroît légèrement du bas vers le haut de la tige : la réduction est la plus accentuée dans le bois de cœur.

2. Variété

La teneur moyenne en eau dépend de la variété. Rangées dans l'ordre décroissant des teneurs moyennes, les variétés se classent comme suit : *P.* « *regenerata* », *P. serotina* », *P.* « *robusta* » et *P.* « *marilandica* ». L'écart entre le *P.* « *regenerata* » et le *P.* « *serotina* » est faible. Par contre, il est important entre le *P.* « *serotina* » et le *P.* « *robusta* » et peu sensible entre le *P.* « *robusta* » et le *P.* « *marilandica* ».

Les variétés ne diffèrent guère sous le rapport de la répartition des teneurs dans la tige. Le *P.* « *robusta* » présente un mode de répartition transversale régulier et assimilable à la moyenne des variétés alors que chez le *P.* « *regenerata* », la répartition est irrégulière.

Dans le sens longitudinal également, le *P.* « *regenerata* » accuse une distribution moins régulière que les autres variétés.

3. Station

Le milieu paraît avoir une influence déterminante sur la teneur en eau du bois. En sol plus humide, les tiges d'une même variété, à la même époque de l'année, accusent des teneurs plus élevées.

Le relèvement de la teneur moyenne entraîne d'autre part une réduction des écarts entre les teneurs respectives de la périphérie et du bois de cœur.

4. Epoque de l'année

L'époque de l'année influe également sur la teneur en eau. En effet, la teneur moyenne du fût décroît du début à la fin de l'année. La réduction affecte les trois zones de répartition transversale, mais dans des proportions différentes. Elle est maximum dans la zone périphérique, minimum dans la zone médiane et moyenne dans la zone axiale, soit en raison inverse de l'importance relative des teneurs dans les différentes zones.

La réduction des teneurs chiffrée par rapport à la teneur au début de l'année est en moyenne de 40 % pour la périphérie et de 15 % pour le bois de cœur.

5. Gélivure

Le nombre de tiges gélivées est trop restreint pour autoriser des conclusions définitives. Néanmoins, leurs teneurs moyennes ou locales sont sensiblement analogues à celles des tiges non gélivées choisies côte à côte.

Gembloux, juillet 1956.

BIBLIOGRAPHIE

(1) BROWN, H. P., PANSHIN, A. I. and FORSAITH, C. C. — 1949 : Textbook of wood technology. Vol. I et II. Mc Graw Hill Co.

(2) BURGER, H. — 1947 : Die Eiche. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* **25,** 211-278.

(3) BURGER, H. — 1948 : Die Föhre. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* **25,** 435-492.

(4) BURGER, H. 1950 : Die Buche. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* **26,** 419-468.

(5) BURGER, H. — 1952 : Fichten im Plenterwald. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* **28,** 109-155.

(6) BURGER, H. — 1953 : Fichten im gleichalterigen Hochwald. *Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw.* **29,** 41-129.

(7) KOLLMAN, F. — 1951 : Technologie des Holzes. Erster Band Springer-Verlag.

(8) LENZ, O. — 1954 : Le bois de quelques peupliers de culture en Suisse. *An. Inst. Féd. Rech. Forest. Zurich* **30,** 9-58.

Communiqué

2me CONCOURS
POUR LE PRIX PROFESSEUR HENRI ZWAENEPOEL

Il est rappelé aux intéressés que le deuxième concours pour le prix biennal, dit « PRIX PROFESSEUR HENRI ZWAENEPOEL », est actuellement ouvert. Ce prix, qui a été institué par l'Association Professionnelle des Fabricants d'Aliments Composés pour Animaux dans le but de promouvoir la recherche scientifique dans le domaine de l'alimentation animale, s'élève à 50.000 francs.

Les études demandées doivent traiter un ou plusieurs problèmes posés par l'aliment complet ou par l'aliment complémentaire pour les animaux de la ferme et sont à introduire au plus tard avant le 30 décembre 1958.

De plus amples renseignements concernant ce concours, tels que le thème, le règlement et la composition du jury, peuvent être obtenus soit au secrétariat de l'Association Professionnelle des Fabricants d'Aliments Composés pour Animaux, a.s.b.l., 27, rue des Paroissiens à Bruxelles, soit aux secrétariats des Universités, des Instituts Agronomiques et des Ecoles Vétérinaires.

CHAIRE DE MATHEMATIQUES

Variations régionales et influences climatiques dans quelques rendements de la betterave sucrière en Belgique (*)

par

R. SNEYERS

1. INTRODUCTION

Dans sa dissertation de doctorat : « Etude détaillée des sols de la Hesbaye occidentale - Application à quelques problèmes d'actualité » A. Pécrot a calculé les rendements moyens de la betterave sucrière, en poids de racines et en richesse saccharine, indiquées aux tableaux I et II et il a mis les différences trouvées en relation avec la nature des sols qui caractérisent les régions envisagées.

Comme il n'est pas évident, à priori, que ces différences n'ont pas une origine purement aléatoire et que, d'autre part, dans le cas des rendements en poids de racines, elles sont loin d'être négligeables puisqu'elles atteignent jusqu'à 15 % de la moyenne générale, il n'était pas sans importance de s'assurer de la réalité de ces différences en les soumettant à l'analyse statistique.

Par ailleurs, la méthode de sélection utilisée dans le calcul des moyennes permet de croire que dans ces moyennes les hétérogénéités d'origine expérimentale ont été réduites au minimum et l'on pouvait se demander, en constatant les variations assez fortes que ces moyennes présentent d'une année à l'autre, quelles sont, si elles existent, les conditions météorologiques auxquelles ces variations sont liées.

Le but de cette note est de faire connaître les résultats que nous avons obtenus en examinant l'une et l'autre question.

(*) Déposé à la rédaction le 22 mai 1957.

2. ETUDE DES DIFFERENCES REGIONALES

Les tableaux I et II étant à double entrée, c'est à une analyse de la variance à deux facteurs que l'on songe naturellement pour mettre en évidence les différences cherchées. Toutefois, afin d'obtenir une première indication dans le cadre d'hypothèses très générales, nous avons tout d'abord soumis les données considérées à une analyse non paramétrique qui consiste, dans le cas de la recherche d'un effet de colonne (cf. [1]) à souligner dans chaque ligne les éléments supérieurs à la médiane de cette ligne et à déterminer pour chaque colonne le nombre m_i d'éléments soulignés ainsi obtenus.

Si l et c sont respectivement les nombres de lignes et de colonnes, le test revient à calculer un χ^2 avec $(c-1)$ degrés de liberté, au moyen de la formule :

$$\chi^2_{(c-1)} = \frac{c\ (c-1)}{la\ (c-a)} \sum_i \left(m_i - \frac{la}{c} \right)^2,$$

formule dans laquelle a est le quotient entier de c par 2.

La mise en évidence d'un effet de ligne se fait en permutant dans les indications précédentes le rôle des lignes avec celui des colonnes et le test est applicable dès que l (ou c) est au moins égal à 5, pour autant que lc soit au moins égal à 20, ce qui est effectivement réalisé ici.

Dans ces conditions, l'existence d'une différentiation des rendements par région et par année se trouve établie au tableau I, par les valeurs $\chi^2_{(5)} = 16{,}9$ et $\chi^2_{(6)} = 36{,}0$, et au tableau II, par les valeurs $\chi^2_{(4)} = 12{,}8$ et $\chi^2_{(6)} = 14{,}6$, valeurs qui sont toutes significatives au niveau de 5 %.

On sait que, dans l'analyse de la variance d'un tableau à double entrée, l'adoption ou le rejet de l'hypothèse de l'homogénéité des colonnes ou des lignes sont liés aux valeurs fournies par les rapports (test F) :

$$F_c = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_r^2} \qquad \text{et} \qquad F_l = \frac{\hat{\sigma}_l^2}{\hat{\sigma}_r^2}$$

où $\hat{\sigma}_c^2 = \dfrac{c \sum_j (\sum_i x_{ij})^2 - (\sum_i \sum_j x_{ij})^2}{lc\ (c-1)}$, avec $(c-1)$ degrés de liberté,

$\hat{\sigma}_l^2 = \dfrac{l \sum_i (\sum_j x_{ij})^2 - (\sum_i \sum_j x_{ij})^2}{lc\ (l-1)}$, avec $(l-1)$ degrés de liberté,

et $\hat{\sigma}_r^2 = \dfrac{lc \sum_i \sum_j (x_{ij})^2 - (\sum_i \sum_j x_{ij})^2}{lc\ (l-1)\ (c-1)}$, avec $(l-1)\ (c-1)$ degrés de liberté, x_{ij} désignant dans le tableau considéré l'observation placée dans la i^e ligne et la j^e colonne.

TABLEAU I

Rendements moyens en tonnes/Ha de la betterave sucrière

Régions	A	B	C	D	E	F
n	6 à 9	23 à 35	18 à 22	9 à 11	4 à 6	16 à 21
1947	20,2	22,4	22,3	15,1	21,5	15,1
1949	41,5	40,4	38,3	35,6	41,6	39,1
1950	43,1	42,4	39,9	42,0	36,5	39,6
1951	26,2	25,8	21,6	23,4	21,8	23,0
1952	36,5	34,2	33,1	29,8	25,2	26,7
1953	41,6	40,4	37,3	33,6	34,0	35,2
1954	38,3	36,6	35,0	33,2	32,7	33,2
Moyennes	35,34	34,60	32,50	30,39	30,47	30,27
Ecarts-types *	8,8	7,7	7,5	8,8	7,8	9,1
Ecarts-types en % de la moyenne	25	22	23	29	26	30

A : Hesbaye typique ; B : Hesbaye gembloutoise ; C : Région limoneuse méridionale ; D : Région limoneuse mixte à substrat sableux ; E : Région limoneuse mixte à substrat rocheux ; F : Région limoneuse hennuyère.

n : nombre de postes ayant servi dans chaque région au calcul des moyennes annuelles.

* d'après l'estimation correcte de la variance.

Les conclusions auxquelles on est ainsi conduit ne sont toutefois correctes qu'à la condition que l'on soit assuré à la fois de la normalité de la distribution de l'erreur résiduelle qui affecte les variables x_{ij} et de l'homogénéité de la variance de cette erreur.

En réalité, on peut se contenter de tester la seconde de ces deux hypothèses seulement, étant donné que la nature des variables x_{ij} permet de supposer que la première de ces hypothèses est vérifiée avec une approximation suffisante. Toutefois, comme nous ne pouvions obtenir une estimation de la variance de l'erreur résiduelle pour chaque x_{ij}, nous avons dû nous borner à examiner l'hypothèse de l'homogénéité de la variance entre lignes et entre colonnes.

TABLEAU II

Richesses saccharines moyennes de la betterave sucrière (en ‰)

Régions	B	C	D	E	F
n	13 à 23	11 à 15	9 à 11	3 à 5	16 à 21
1947	155,2	155,3	149,1	159,3	148,3
1949	157,9	161,9	165,9	151,8	159,4
1950	160,2	164,9	162,2	161,7	159,4
1951	158,2	158,3	162,3	157,6	159,9
1952	157,7	159,7	163,5	155,3	160,8
1953	173,9	176,7	176,5	174,8	173,2
1954	160,0	162,2	163,6	161,8	159,4
Moyennes	160,4	162,7	163,3	160,3	160,1
Ecarts-types	6,2	6,9	8,0	7,3	7,2
Ecarts-types en % de la moyenne	3,9 %	4,2 %	4,9 %	4,6 %	4,5

Le test de Bartlett (*) utilisé à cet effet fournit pour le premier tableau : $\chi^2_{(5)} = 7{,}9$ et $\chi^2_{(6)} = 14{,}9$, et pour le second tableau : $\chi^2_{(4)} = 11.8$ et $\chi^2_{(6)} = 22.9$, valeurs parmi lesquelles la première est la seule qui ne soit pas significative au niveau de 5 %.

(*) Si $\hat{\sigma}_i^2$ ($i = 1, 2, \ldots, k$) sont les estimations des variances de k populations supposées normales, estimations respectivement faites avec ν_i degrés de liberté, on teste l'homogénéité des variances au moyen du χ^2 fourni par la formule :

$$\chi^2_{(k-1)} = \frac{(\sum_i \nu_i) \log \hat{\sigma}^2 - \sum_i \nu_i \log \hat{\sigma}_i^2}{C}$$

avec $(k-1)$ degrés de liberté.

où $\hat{\sigma}^2 = \dfrac{\sum_i \nu_i \hat{\sigma}_i^2}{\sum_i \nu_i}$ et $C = 1 + \dfrac{1}{3\,(k-1)} \left[\sum_i \dfrac{1}{\nu_i} - \dfrac{1}{\sum_i \nu_i} \right]$

Les estimations de l'erreur résiduelle ε_{ij} sont obtenues ici au moyen de la relation :

$$\varepsilon_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_{i.} - \bar{x}_{.j} + \bar{x},$$

où $\bar{x}_{i.}$, $\bar{x}_{.j}$ et $\bar{x}$ sont respectivement la moyenne des éléments de la ligne i, la moyenne des éléments de la colonne j et la moyenne générale.

Comme l'hétérogénéité de l'erreur résiduelle, qui se trouve ainsi établie, pourrait fort bien résulter de la disparité du nombre de postes à partir desquels les moyennes annuelles ont été calculées, on peut tenter de l'éliminer en effectuant des groupements partiels convenables avec les données des tableaux I et II. En particulier, on peut penser tout d'abord à un groupement excluant les données de la région E, région dans laquelle le nombre de postes est notablement le plus petit, sous réserve de compléter l'analyse en considérant ensuite les différences entre les moyennes annuelles de la région E et celles des autres régions, et de tester, pour ces différences, au moyen du t de Student, l'hypothèse d'une distribution autour d'une moyenne nulle.

En réalité, le test de Bartlett, appliqué de la manière qui vient d'être indiquée, montre que l'analyse ne peut être conduite de cette manière que dans le cas du tableau I, et on trouve dans ces conditions, pour ce tableau ainsi réduit :

$$F_c = 12{,}9 \quad (\nu_1 = 4,\ \nu_2 = 24) \quad \text{et} \quad F_1 = 115{,}2 \quad (\nu_1 = 6,\ \nu_2 = 24),$$

valeurs qui sont toutes deux significatives à un niveau très inférieur à 5 %.

Pour séparer les moyennes régionales, nous avons fait appel à la méthode de TUKEY [2] et à celle de SCHEFFÉ [3].

Dans la première on range les totaux T_A, T_B, ..., T_F des éléments des colonnes A, B, ..., F par ordre croissant ou décroissant et l'on déclare distincts, au niveau α, les groupes séparés par des totaux consécutifs dont la différence est au moins égale à la différence critique donnée par la formule :

$$\Delta_c = t_a \sqrt{2ns^2},$$

où s^2 est la variance estimée de l'erreur résiduelle, n le nombre d'éléments dans chaque colonne et t_a la valeur absolue critique au niveau α du t de Student, pour le même nombre de degrés de liberté que celui avec lequel s^2 a été déterminé.

D'autres étapes ne sont prévues que lorsque les groupes ainsi séparés contiennent au moins trois éléments.

Si on utilise le signe $>$ pour marquer les écarts significatifs au niveau de 5 %, on trouve ainsi la relation :

$$(T_A, T_B) > T_C > (T_D, T_F).$$

La méthode de SCHEFFÉ considère des fonctions linéaires de la forme : $C = \sum_j c_j T_j$, avec $j = A, B, \ldots, F$ et $\sum_j c_j = 0$, appelées *contrastes*, et un contraste donné est considéré comme significativement différent de zéro, au niveau α, si l'on a :

$$C^2 \geqslant A^2 \hat{V}(\hat{C}), \text{ avec } A^2 = (k-1) F_a,$$

où $(k-1)$ est le nombre de degrés de liberté de $\hat{\sigma}_c^2$ (ici $k = c$), F_a

la valeur critique utilisée pour tester F_C et où $\hat{V}(\hat{C})$ est fourni par l'équation :

$$\hat{V}(\hat{C}) = \Sigma (c_j)^2 n_j s^2.$$

n_j étant (*) le nombre d'éléments de la colonne j.

Parmi les relations qu'on trouve ainsi, on a notamment :

$$T_A > T_D,\ T_A > T_F,\ T_B > T_D,\ T_B > T_F,$$
$$T_A + T_B > T_C + T_D \quad \text{et} \quad T_B + T_C > T_D + T_F.$$

En ce qui concerne maintenant les données de la région E, on notera que la comparaison avec les données des autres régions conduit à des valeurs significatives au niveau de 5 % du test de Student (**) dans le cas des régions A et B, et comme la probabilité d'obtenir au moins deux résultats sur cinq, significatifs à ce niveau, est elle-même inférieure à 5 %, l'existence d'un déficit réel de rendement de la région E par rapport aux régions A et B, prises au moins dans leur ensemble, peut effectivement être prise en considération.

Ainsi qu'on vient de le voir, l'analyse du tableau II doit être menée en s'appuyant sur d'autres groupements partiels que celui qui vient d'être utilisé et, afin de nous orienter dans le choix de tels groupements nous avons procédé à un examen plus approfondi de l'erreur résiduelle sur le plan régional en retournant aux données à partir desquelles les moyennes annuelles ont été calculées.

Il est apparu de cette façon que si l'hypothèse de l'homogénéité de l'erreur résiduelle était acceptable en ce qui concerne les données d'une même région, par contre, les estimations de la variance de cette erreur résiduelle obtenues à partir de ces données (tableau III) sont presque toutes significativement différentes d'une région à l'autre.

En outre, les variances estimées de l'erreur résiduelle des moyennes régionales annuelles qu'on en déduit (tableau IV) montrent que si effectivement, dans le cas des données du tableau I, la région E se distingue nettement des autres régions, il n'en est pas de même dans le cas des données du tableau II, données pour lesquelles les groupements (B, C, F) et (D, E, F) paraissent plus favorables.

(*) On aura noté que dans la méthode de Scheffé le nombre d'éléments dans les diverses colonnes ne doit pas être le même partout ; elle est, de ce fait, d'application plus générale que celle de Tukey.

(**) Avant d'appliquer le test en t de Student, nous nous sommes toutefois assuré de la normalité de la distribution des différences considérées en vérifiant si le carré $\left(\frac{R}{2{,}63}\right)^2$ était intérieur à l'intervalle de confiance au niveau de 5 % de la variance de la population d'origine, R étant l'écart entre la plus grande et la plus petite valeur de ces différences et 2,63 le rapport de la valeur probable de R à l'écart-type de la population pour un échantillon dont l'effectif est égal à 7 (pour les valeurs de ce rapport cf par ex. [4] p. 165).

TABLEAU III

Variances estimées s^2 de l'erreur résiduelle des données régionales
(ν = nombre de degrés de liberté)

		A	B	C	D	E	F
Tabl. I	s^2	7,7	10,2	10,6	16,7	24,9	17,8
	ν	38	152	115	53	24	109
Tabl. II	s^2		5,5	6,0	34,8	10,4	22,4
	ν		88	67	54	18	104

TABLEAU IV

Variances estimées de l'erreur résiduelle des moyennes régionales annuelles
(d'après les plus petites valeurs de n)

	A	B	C	D	E	F
Tabl. I	1,28	0,44	0,59	1,86	6,23	1,11
Tabl. II		0,42	0,55	3,87	3,47	1,40

En réalité, le test de Bartlett montre que ces derniers groupements ne peuvent non plus être pratiqués et, de ce fait, il ne reste plus qu'à procéder à des comparaisons de région à région.

Dans ces conditions, la comparaison des données des régions C et D à celles des autres régions au moyen du t de Student (*) laisse supposer qu'ici aussi il existe une différentiation réelle des deux premières par rapport aux trois autres, prises dans leur ensemble, étant donné que le t de Student, déduit des différences entre moyennes correspondantes est significatif au niveau de 10 % deux fois sur trois dans le premier cas (C-B et C-F), et significatif au niveau de 1 % une fois sur trois dans le second (D-F), soit des résultats globalement significatifs au niveau de 3 % dans chaque cas.

(*) Ici aussi nous nous sommes préalablement assuré de la normalité de la distribution des différences considérées au moyen de la méthode indiquée plus haut.

3. INFLUENCE DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Le problème de l'influence des conditions météorologiques sur les caractères de la production betteravière en Belgique a déjà été examiné à deux reprises (cf. [5] et [6]) et sur des bases apparemment plus solides que dans notre cas puisque BERCE et WILBAUX ont considéré les données relatives à une série de treize années (1920-1932) et que celles étudiées par ERNOULD portaient sur un ensemble de cinquante-deux années (1887-1913 et 1919-1943).

Toutefois, indépendamment des réserves que ces auteurs ont faites eux-mêmes sur la qualité des données agricoles dont ils disposaient il convient de noter que, en ce qui concerne plus particulièrement les rendements en poids de racines, les chiffres de 1920 à 1943 conduisent à des variabilités de rendement de l'ordre de 8 % du rendement moyen, tandis que les nôtres (tableau I) font apparaître une variabilité de l'ordre de 22 à 30 %. Comme une telle augmentation de variabilité ne se produit, dans l'hypothèse d'un échantillonnage aléatoire et simple, qu'avec une fréquence très inférieure à 1 % (d'après les valeurs des rapports F de Snedecor qu'on en déduit) on peut admettre qu'on se trouve réellement en présence d'un fait nouveau qui demande quelque explication.

Les résultats et les conclusions qui suivent ont été fondés sur la théorie des corrélations simples dans le cas paramétrique et, lorsque les corrélations obtenues étaient très fortes, sur le calcul des régressions linéaires à une variable indépendante. Toutefois, avant d'indiquer ces résultats, quelques remarques préliminaires concernant la méthode utilisée nous paraissent nécessaires.

Considérons à cet effet deux variables aléatoires x_1 et x_2 de moyennes nulles, liées à une même troisième x_3 par les relations :

$$\begin{aligned} x_1 &= x_3 + \alpha_1 \\ \text{et} \quad x_2 &= x_3 + \alpha_2, \end{aligned} \tag{1}$$

où x_3, α_1 et α_2 sont des variables aléatoires indépendantes entre elles deux à deux et de moyennes nulles.

On a, par conséquent :

$$x_1 = x_2 + \alpha_3, \quad \text{avec } \alpha_3 = \alpha_1 - \alpha_2, \tag{2}$$

et il s'ensuit que si σ_i et ε_i sont les écarts-types des variables x_i et α_i ($i = 1, 2, 3$), si r_{12} est le coefficient de corrélation des variables x_1 et x_2, si

$$x_1 = k\, x_2 \tag{3}$$

est la régression linéaire de x_1 par rapport à x_2 (obtenue par la méthode des moindres carrés) et si ε est l'écart-type du résidu de cette régression, on a aussi :

$$\sigma_1^2 = \sigma_3^2 + \varepsilon_1^2 ; \qquad \sigma_2^2 = \sigma_3^2 + \varepsilon_2^2 ; \qquad \varepsilon_3^2 = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2$$

$$r_{12} = \frac{{\sigma_3}^2}{\sigma_2\ \sigma_1} \quad ; \quad k = \frac{{\sigma_3}^2}{{\sigma_2}^2}; \quad \varepsilon^2 = {\varepsilon_1}^2 + k\ {\varepsilon_2}^2 \tag{4}$$

$$\text{et} \quad \frac{\varepsilon^2}{{\sigma_1}^2} + {r_{12}}^2 = 1.$$

Il résulte immédiatement de ces égalités que la recherche d'une relation du type (3) ne présente quelque intérêt que si l'erreur ε est petite par rapport à σ_1 et que, dans ce cas, σ_1 et σ_2 auront le même ordre de grandeur que σ_3, r_{12} et k seront voisins de l'unité et ε_3 différera très peu de ε. De plus, la dernière des relations (4) montre qu'on peut calculer ε en % de σ_1, à partir de r_{12} ou inversément, prévoir des valeurs maximales de r_{12} lorsqu'on connaît l'ampleur de certaines composantes de ε_3.

Dans le cas qui nous occupe, le rendement agricole, la variable météorologique et la mesure de cette dernière peuvent être identifiés respectivement avec x_1, x_3 et x_2 et les variables α_1 et α_2 sont les erreurs à caractère accidentel qui perturbent la liaison entre x_1 et x_3 et celle entre x_2 et x_3.

En outre, comme les données utilisées sont compatibles avec l'hypothèse de normalité, nous avons supposé que x_3, α_1, α_2 et par conséquent aussi x_1, x_2 et α_3, sont des variables gaussiennes ; il est toutefois bien évident que les relations précédentes sont indépendantes de cette dernière hypothèse, celle-ci n'intervenant en réalité qu'au moment où l'on désire faire, à l'aide de tests paramétriques, certaines estimations sur les données étudiées.

Il est à peine besoin d'insister sur la nécessité de disposer d'échantillons homogènes si l'on veut appliquer le schéma précédent avec le maximum de succès et l'on notera à ce propos que ce sont des raisons d'homogénéité qui nous ont fait préférer ici l'emploi des données d'Uccle à celui d'autres données du réseau climatologique belge (cf. à ce sujet [7]).

En ce qui concerne les données agricoles, notre choix s'est porté sur les moyennes de la Hesbaye gembloutoise (région B) du fait que ce sont les données de cette région qui ont fourni les erreurs résiduelles les plus faibles (cf. tableau IV).

a. Corrélation avec le rendement en poids de racines

Notons tout d'abord qu'une limitation inférieure de l'erreur résiduelle de la régression cherchée est fournie par l'écart-type de l'erreur résiduelle des rendements moyens de la région B (tableau IV), qui représente 9 % de l'écart-type de ce rendement.

On se souviendra de plus que, dans l'hypothèse de variables gaussiennes indépendantes, les valeurs de r_{12} non significatives au niveau

de 5 % sont, dans notre cas (échantillon de sept couples), comprises entre (*) + 0,755 et — 0,755.

Cela étant, le calcul des coefficients de corrélation du rendement moyen avec les quantités mensuelles d'eau recueillie (R) à Uccle de mars à octobre, soit la période qui s'étend du moment des premiers semis à celui de l'arrachage, montre (tableau V) que seul le coefficient de mars est significatif (à un niveau toutefois très inférieur à 5 %).

TABLEAU V

Coefficients de corrélation du rendement moyen avec les quantités mensuelles d'eau recueillie à Uccle (en millièmes)

III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
—942	—073	307	285	—216	125	256	239

De plus, de la valeur atteinte par ce dernier on peut déduire que le calcul du rendement peut se faire au moyen des quantités d'eau recueillie de mars avec une erreur dont l'écart-type est égal à 34 % de l'écart-type du rendement.

Ce calcul peut d'ailleurs encore être amélioré si l'on fait également appel à la fréquence des précipitations en mars.

En effet, si le calcul de la régression linéaire du rendement par rapport à la quantité d'eau recueillie en mars et au nombre de jours de précipitations de ce mois, conduit à un coefficient de corrélation totale à peine meilleur que le précédent, par contre, le produit de ces deux variables donne un coefficient de corrélation égal à — 0,973, qui prouve que l'écart-type de l'erreur dans le calcul du rendement peut être réduit à 23 % de l'écart-type de ce rendement.

Pour rechercher l'existence éventuelle d'autres influences, nous avons calculé le résidu de la régression du rendement par rapport au produit des variables pluviométriques de mars, qui viennent d'être considérées, ce qui nous a permis, en établissant les coefficients de corrélation de ce résidu avec les quantités d'eau recueillie d'avril à octobre (tableau VI), de faire apparaître un nouveau coefficient significatif, cette fois, en octobre.

Ce coefficient montre que grâce aux quantités d'eau recueillie de ce dernier mois, le calcul du résidu peut se faire avec une erreur dont

(*) Pour la détermination de ces valeurs, on sait (cf. [8]) que, dans l'hypothèse de variables gaussiennes indépendantes, si l'on pose $r_{12} = \cos \alpha$ ($o \leqslant \alpha \leqslant \pi$), la variable $\sqrt{n-2}$ cotg α est distribuée suivant une loi en t de Student avec $(n-2)$ degrés de liberté.

TABLEAU VI

Coefficients de corrélation du résidu du rendement avec les quantités mensuelles d'eau recueillie à Uccle (en millièmes)

IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
723	057	617	053	229	192	862

l'écart-type est égal à 51 % de celui du résidu et il en résulte que le calcul du rendement lui-même peut se faire avec une erreur dont l'écart-type est égal à 12 % de l'écart-type de ce rendement, soit pratiquement, la limite inférieure de l'erreur qui a été déterminée plus haut.

b. Corrélation avec la richesse saccharine

De même que ci-dessus, on retiendra tout d'abord que l'écart-type de l'erreur résiduelle des moyennes annuelles (région B) est égal à 10 % de l'écart-type de ces moyennes.

Du calcul des coefficients de corrélation fournis par la quantité d'eau recueillie (R), le maximum moyen diurne (M) et la durée d'insolation (I) des mois de mars à octobre, à Uccle (tableau VII), on déduit alors l'existence de corrélations significatives avec la quantité d'eau recueillie en juin et la durée d'insolation en mars, et celle d'une corrélation presque significative avec la quantité d'eau recueillie en mars.

TABLEAU VII

Coefficients de corrélation de la richesse saccharine moyenne avec l'eau recueillie (R), *le maximum moyen* (M) *et la durée d'insolation* (I) *à Uccle* (en millièmes)

Mois	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
R	727	336	—180	777	- 113	150	—047	443
M	524	—239	132	494	369	361	124	184
I	814	—253	293	594	514	068	315	522

Ceci nous a suggéré de considérer le quotient des durées d'insolation de mars avec les quantités d'eau recueillie correspondantes et la variable ainsi obtenue nous a conduit à un coefficient de corrélation égal à 0,970, qui prouve que le calcul de la richesse saccharine moyenne peut être effectué avec un résidu dont l'écart-type est égal à 24 % de celui de la richesse saccharine moyenne.

La détermination des coefficients de corrélation de ce résidu avec les mêmes variables météorologiques (tableau VIII) laisse supposer ensuite l'existence d'une influence de M et de I de juin à août, influence qui est confirmée par les valeurs de — 0,878 et — 0,949 des coefficients de corrélation de la moyenne estivale de M et de la durée totale d'insolation en été.

TABLEAU VIII

Coefficients de corrélation du résidu de la richesse saccharine avec l'eau recueillie (R), *le maximum moyen* (M) *et la durée d'insolation* (I) *à Uccle* (en millièmes)

Mois	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
R	061	- 374	—299	051	180	834	568	164
M	173	—433	192	713	- 859	—814	-399	—188
I	—091	407	—381	—823	—746	—837	—027	—551

En outre, le dernier coefficient montre que, à l'aide de la durée totale d'insolation de l'été, on peut réduire l'écart-type de l'erreur résiduelle dans le calcul de la richesse saccharine moyenne à 8 % de l'écart-type de cette variable et il en résulte que la limite inférieure de l'erreur résiduelle est à nouveau atteinte.

En ce qui concerne les coefficients significatifs fournis par R en juin dans le tableau VII et en août au tableau VIII, on notera que, dans le premier cas, l'absence d'un coefficient significatif de R en juin au tableau VIII permet de considérer la corrélation trouvée comme purement fortuite, tandis que dans le second cas, on admettra que la valeur élevée de ce coefficient résulte de la corrélation inverse qui lie effectivement R à I et à M.

Notons encore, à propos de l'erreur résiduelle de nos régressions que, d'après les relations (4) de notre schéma, l'imprécision des régressions linéaires obtenues résulte à la fois de l'erreur sur les moyennes agricoles et de celle qui affecte probablement aussi les mesures des variables météorologiques et que, de plus, il faut s'attendre à ce que l'erreur résiduelle réelle soit assez différente de l'estimation trouvée.

Toutefois, sachant que la variance de l'erreur résiduelle possède dans notre cas trois degrés de liberté, il est facile d'établir, à l'aide de l'intervalle de confiance de cette variance que, au niveau de 5 %, l'écart-type de l'erreur résiduelle n'atteint pas six fois notre estimation.

D'autres réserves doivent naturellement être faites quant à la généralité de nos résultats puisque les moyennes de la région B ont été

DONNEES D'UCCLE

1. *Eau recueillie, en mm* (cuve 37)

	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1947	106(27)	63	34	44	94	18	36	22
1949	47(13)	48	54	22	20	57	38	58
1950	20(14)	80	92	66	108	78	94	28
1951	99(21)	82	67	42	76	132	76	11
1952	68(22)	15	43	26	78	99	76	80
1953	10 (8)	78	36	81	65	81	51	6
1954	57(19)	24	40	41	105	118	105	59

Entre parenthèses, les nombres de jours de précipitations mesurables en mars.

2. *Maximum moyen diurne, de 8 à 8 h, en 0,1 °C*
(abri Stephenson ouvert au nord)

	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1947	92	164	218	250	258	280	239	162
1949	93	175	172	212	255	243	242	174
1950	118	130	194	243	244	240	180	144
1951	90	135	175	221	234	229	211	148
1952	111	175	208	225	249	236	171	139
1953	114	148	205	208	230	232	209	163
1954	111	127	192	206	202	212	191	158

3. *Durée d'insolation, en h, d'après l'héliographe de Campbell-Stokes*
(papier bleu)

	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1947	93	200	247	251	248	307	186	186
1949	145	217	191	250	268	230	175	142
1950	116	165	213	274	230	236	76	128
1951	111	201	163	227	234	164	155	172
1952	90	217	233	233	239	198	143	124
1953	176	194	242	169	181	250	203	107
1954	99	211	196	157	139	146	123	83

choisies en raison de la petitesse de l'erreur résiduelle qui les affecte et que, de ce fait, on peut s'attendre à des corrélations moins marquées avec les moyennes des autres régions. La variation régionale de l'erreur résiduelle (tableau III) nous paraît cependant suffisamment peu importante pour faire admettre que ces résultats sont effectivement représentatifs pour l'ensemble de la production betteravière considérée.

L'interprétation de ces résultats pose sans doute d'autres problèmes qu'il ne nous appartient pas de résoudre. Toutefois nous croyons qu'il n'est pas inopportun de les rapprocher (en particulier, l'importance prépondérante des conditions météorologiques du mois de mars) avec les nouvelles méthodes de culture qui ont été utilisées depuis la dernière guerre. Plus précisément, la pratique des semis précoces, qui semble avoir été généralement adoptée, pourrait bien être le fait nouveau auquel nous avons fait allusion en tête de ce paragraphe (cf. [9]).

Dans ces conditions, nos constatations auraient mis en lumière toute l'importance de ces nouvelles méthodes (*).

Qu'il nous soit permis de remercier très cordialement notre ami le Professeur J. Teghem qui a bien voulu relire ce travail et nous faire part d'utiles suggestions.

BIBLIOGRAPHIE

(1) MOOD, A. : Introduction to the theory of Statistics. *Mac Graw Hill*, N.Y. 1950, p. 399.

(2) TUKEY, J. W. : Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, **5**, 99, 1949.

(3) SCHEFFE, H. : A method for judging all contrasts in the analysis of variance. *Biometrika*, **40**. 87, 1953.

(4) HOEL, P. G. : Introduction to mathematical Statistics. Wiley, N.Y. 1951.

(5) BERCE, R. et WILBAUX, R. : Recherche statistique des relations existant entre le rendement des plantes de grandes cultures et les facteurs météorologiques en Belgique. *Bull. Inst. agr. et des Stat. Rech. de Gembloux*. **T. 4**, n° 1, p. 32.

(6) ERNOULD, L. : Etude statistique des relations entre les rendements de la betterave sucrière et les facteurs météorologiques en Belgique. *Publ. Inst. B. Amél. Bett.* 15me année, n° 5, p. 181.

(7) SNEYERS, R. : Sur la détermination de l'homogénéité des séries climatologiques. *Journ. Sc. Mét.* **28**, octobre-décembre 1955.

(8) KENDALL, M. G. : The Advanced theory of Statistics, London, 1948, **vol. I**, p. 339.

(9) DECOUX, L. : Etude de la culture de la betterave sucrière et son avenir en Belgique. Centenaire de l'A.I.Lg. Congrès 1947. Section alimentation.

(*) Il y a lieu de signaler ici l'étude de D. Berényi : *Zusammenhänge zwischen der durchschnittlichen Ernte der Zuckerrübe und den meteorologischen Elementen* ; A. Debreceni Kossuth Lajos Tudományegyetem Meteorologiai intézetének Közleményei, 12, szäm, Debrecen, 1956 ; dont nous venons d'avoir connaissance et dans laquelle cet auteur a été conduit à des conclusions assez analogues aux nôtres.

COMITE NATIONAL
POUR L'ETUDE DE LA CULTURE FRUITIERE

Etude de l'influence de la fumure sur la composition chimique et certains caractères physiques des feuilles du pommier (*)

par

T. TRZCINSKI,
Assistant au Comité National pour l'Etude de la Culture fruitière
P. DE MUNTER,
Assistant à la Chaire de mathématiques de l'Institut agronomique de Gembloux

Recherches subventionnées par l'I.R.S.I.A.

SOMMAIRE

§ 1. Les données et les problèmes 212
§ 2. Relations entre la fumure et la composition minérale des feuilles . 216
§ 3. Relations entre la fumure et les dimensions des feuilles et des rameaux 222
§ 4. Relations entre les relevés physiques et la composition minérale des feuilles 225
§ 5. Relations entre les éléments minéraux des feuilles . 235
§ 6. Conclusions 242

§ 1. LES DONNEES ET LES PROBLEMES

Au cours de la période 1952-1954 une série d'essais en vases a permis d'étudier la relation entre la fumure, la croissance et la composition chimique des feuilles du pommier.

Une première communication sur les résultats de ces essais fut présentée au Congrès d'Horticulture à Scheveningen par A. Legrenier, E. Dermine et T. Trzcinski. Mais, il ne fut pas possible de présenter,

(*) Déposé à la rédaction le 21 novembre 1956.

à l'occasion de cette communication, une discussion étendue et détaillée, de la partie chimique. En conséquence, le sujet est repris dans cet article.

Rappelons les conditions de l'essai : 27 séries de 4 pots ont été établies, chaque série représentant un type de fumure. Ces fumures se différencient par les proportions d'azote, d'acide phosphorique et de potasse. Le calcium lié à l'azote dans la formule du nitrate, varie avec l'azote. Aux éléments de base il a été adjoint une série d'éléments, tels la magnésie, le bore, le manganèse, le zinc, le cuivre, le fer, le sodium, sous la forme de sulfates, et, pour tous les équilibres, à niveau constant. Les fumures sont reprises au tableau I.

TABLEAU I

Fumures correspondant à chaque série

Séries	Fumures en unités			Equilibre correspondant en % de		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1	10	6.78	16.78	30	20	50
2	10	6.78	33.65	20	13	67
3	10	6.78	50.33	15	10	75
4	10	13.56	16.78	25	34	41
5	10	13.56	33.65	17	24	59
6	10	13.56	50.33	14	18	68
7	10	20.34	16.78	21	43	36
8	10	20.34	33.65	16	32	52
9	10	20.34	50.33	13	25	62
10	20	6.78	16.78	46	16	38
11	20	6.78	33.65	33	11	56
12	20	6.78	50.33	26	9	65
13	20	13.56	16.78	40	27	33
14	20	13.56	33.65	30	20	50
15	20	13.56	50.33	24	16	60
16	20	20.34	16.78	35	36	29
17	20	20.34	33.65	27	28	45
18	20	20.34	50.33	22	22	56
19	30	6.78	16.78	56	13	31
20	30	6.78	33.65	42	10	48
21	30	6.78	50.33	34	8	58
22	30	13.56	16.78	50	22	28
23	30	13.56	33.65	39	17	44
24	30	13.56	50.33	32	14	54
25	30	20.34	16.78	45	30	25
26	30	20.34	33.65	36	24	40
27	30	20.34	50.33	30	20	50
Témoin	5	3.39	8.39	30	20	50

Les analyses chimiques ont été effectuées sur les feuilles, les méthodes analytiques étant celles énumérées à l'occasion d'autres publications (bibl. 4 et 5). Les résultats analytiques sont repris au tableau II.

TABLEAU II

Eléments retrouvés dans les feuilles, exprimés en oxydes % de la matière sèche

N° série	N	P_2O_5	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	Fe_2O_3
1	2.318	0.497	6.789	0.174	2.553	0.617	0.036
2	2.192	0.464	6.074	0.133	2.554	0.488	0 050
3	2.165	0.414	6.147	0.290	2.458	0.451	0.067
4	2.723	0.726	4.095	0.112	2.049	0.481	0.062
5	2.767	0.595	4.922	0.144	2.246	0.467	0.062
6	2.639	0.572	6.598	0.375	2.026	0.593	0.050
7	2.823	1.182	3.898	0.125	1.528	0.513	0.052
8	3.204	0.695	3.543	0.127	2.064	0.401	0.060
9	3.377	0.644	4.388	0.120	1.657	0.401	0.078
10	2.708	0.545	4.677	0.112	2.466	0.518	0.051
11	2.335	0.444	5.303	0.106	2.374	0.379	0.078
12	2 840	0.492	6.334	0.313	2.943	0.472	0.039
13	3.272	0.330	3.143	0.090	2.279	0.401	0.063
14	2.514	0.428	3.497	0.052	2.093	0.347	0.063
15	2.910	0.535	4.556	0.066	2.131	0.364	0.054
16	3.228	0.998	3.355	0.238	2.168	0.396	0.053
17	3.167	0.632	3.115	0.136	1.896	0.368	0.071
18	3.239	0.739	4.054	0.192	1.880	0.366	0.069
19	3.019	0.499	3.335	0.243	2.583	0.426	0.070
20	2.854	0.480	4.864	0.077	1.927	0.408	0.072
21	2.472	0.480	6.141	0.139	2.846	0.521	0.050
22	3.835	0.691	3.778	0 127	2.457	0.350	0.065
23	3.816	0.503	3.630	0.077	2.233	0.311	0.046
24	3.444	0.490	4.050	0.102	2.079	0.411	0.087
25	4.079	1.033	3.572	0.143	2.490	0.425	0.080
26	3.066	0.695	4.226	0 072	2.239	0.294	0.061
27	3.544	0.691	5.330	0.063	2.053	0.320	0.076
témoin	2.399	0.224	0.788	0 072	2.674	0.634	0.062

Rappelons brièvement les conclusions de la partie chimique qui furent communiquées à Scheveningen :

— la composition chimique des feuilles n'est dans aucun cas identique à la composition chimique de la fumure ;

— ce ne sont pas nécessairement les doses de fumures les plus fortes (en un certain élément) qui donnent la plus grande proportion de cet élément dans les feuilles ;

— dans les cas de doses de fumures croissantes les teneurs des éléments enregistrées dans les feuilles sont soit directement, soit indirectement proportionnelles à la fumure, mais peuvent également être très irrégulières ;

— la teneur des éléments, dans les organes analysés, dépend de la richesse du milieu en cet élément et du complexe nutritif tout entier.

Afin de donner une image des répercussions chimiques de la fumure et de la composition minérale des feuilles sur le complexe biologique, nous rapprocherons les mesures de certains caractères physiques ; ceux-ci proviennent du rapport des essais établi par E. DERMINE, à qui nous adressons nos remerciements de pouvoir utiliser dans cet article les données qu'il a recueillies.

Des résultats de la mensuration des feuilles (*), on a pu constater un rapport étroit entre les deux dimensions des feuilles : la longueur et la largeur, et ce à n'importe quel rameau et emplacement des feuilles. Cela a permis de ne considérer dans la suite que les largeurs, dont le relevé est le plus simple et le plus précis. Par le fait que la meilleure moyenne est obtenue sur la partie médiane du rameau, les mensurations ont été faites sur 10 feuilles se trouvant au-dessus des 10 premières

TABLEAU III

Moyennes des largeurs des feuilles, des longueurs et des diamètres des rameaux

Série B	Feuilles Largeurs (mm)	Rameaux	
		Longueurs (cm)	Diamètres (mm)
1	23.6	33.7	3.7
2	30.1	40.6	3.5
3	30.2	27.0	2.8
4	33.7	44.2	3.7
5	33.1	43.0	3.9
6	32.4	41,5	3.6
7	33.6	45.6	4.2
8	31.0	31.0	3.4
9	31.4	33.8	3.5
10	31.5	34.9	3.7
11	36.3	38.5	3.5
12	33.7	36.1	3.3
13	33.9	42.0	3.9
14	32.3	37.3	3.7
15	32.1	33.5	3.2
16	32.4	38.1	3.8
17	33.6	35.8	3.6
18	32.2	36.2	3.3
19	24.9	32.9	3.4
20	31.8	37.6	3.3
21	30.4	28.5	2.9
22	32.9	40.3	3.8
23	33.5	40.0	3.5
24	32.0	39.0	3.4
25	32.7	45.5	3.8
26	34.0	33.5	3.2
27	35.1	35.0	3.3
T	24.1	11.7	2.3

(*) Résumé du rapport de E. Dermine.

feuilles de la base. Il fut établi 30 mensurations par arbre, 90 par pot, 360 par série. Les moyennes de ces observations sont reprises au tableau III.

« La mensuration des feuilles a été effectuée à la fin août, celle des rameaux après la chute des feuilles. La longueur a été mesurée à l'aide d'un mètre de couturière, afin de suivre la courbe possible du rameau. Le diamètre fut établi sur la partie moyenne du rameau à l'aide d'un pied à coulisse, (*). Les moyennes ont été reprises au tableau III.

Nous nous proposons de discuter les questions suivantes :

relations entre la fumure et la composition minérale des feuilles ;

relations entre la fumure et les trois données physiques qui expriment des formes particulières de la croissance ;

établir la relation entre la composition minérale des feuilles et les dimensions étudiées des feuilles et du bois ;

et vérifier s'il y a une corrélation entre les données étudiées des feuilles et du bois ;

corrélation entre les éléments contenus dans les cendres des feuilles ;

problème de corrélations multiples et partielles entre certaines observations.

La réponse aux questions posées n'est possible que par la voie de l'analyse statistique.

§ 2. RELATIONS ENTRE LA FUMURE ET LA COMPOSITION MINERALE DES FEUILLES

a. Généralités

Les tableaux des résultats relatifs à N, P_2O_5, Na_2O, MgO et Fe_2O_3 sont analysés séparément. Ils se présentent sous la forme classique de tableaux à 3 facteurs. (Les 3 éléments N, P, K des fumures), chacun d'eux étant considéré à 3 niveaux (la simple, la double et la triple dose). Chaque tableau est donc partagé en 27 cellules contenant chacune une seule observation, la teneur des feuilles en azote, phosphore, ..., fer. Les niveaux (les doses) de chaque facteur étant fixés à priori, les variations factorielles sont comparées à la variation résiduelle.

Les conclusions sont essentiellement statistiques. Une affirmation telle que « il y a un effet du phosphore sur la teneur des feuilles en potassium » est vraie avec une probabilité d'erreur de 0,05. L'erreur envisagée est celle de dire qu'il y a un effet du phosphore alors qu'en réalité il n'y en a pas. Par contre, l'erreur qui consisterait à dire qu'il n'y a pas d'effet du phosphore alors qu'en réalité il y en a un, n'est pas contrôlée.

(*) Résumé du rapport de E. Dermine.

D'autre part, les conclusions sont valables seulement pour l'expérience considérée, c'est-à-dire pour le matériel et les données analysées. Nous verrons plus loin que les effets majeurs (N, P, K) sont rarement significatifs sur les teneurs en azote, phosphore, ... fer. Néanmoins les moyennes des teneurs pour les différentes doses de N, P ou K traduisent parfois une tendance, à laquelle le biologiste peut « croire », mais que l'analyse statistique impute, dans le cas actuel, au hasard. Les résultats sont illustrés à la figure 1.

b. Teneur en azote

L'analyse de la variance et les tests-F sont résumés au tableau IV.

TABLEAU IV

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Observés	Théoriques (*)
N	1.34388	2	0.67294	2.21	4.46
P	1.85220	2	0.92610	3.04	4.46
K	0.16780	2	0.08390	0.27	4.46
NP	0.44577	4	0.11144	0.36	3.84
NK	0.44634	4	0.11158	0.36	3.84
PK	0.08469	4	0.02117	0.07	3.84
Erreur	2.44069	8	0.30501		

Aucun effet n'est significatif. On constate toutefois l'importance relative de l'azote et du phosphore. Elle traduit la tendance de moyennes des teneurs en azote calculées d'une part pour chaque dose d'azote et d'autre part pour chaque dose de phosphore. Ces moyennes sont reprises au tableau V.

TABLEAU V

N Unités de fumure	P Unités de fumure (**)			N
	7	14	21	
10				2.69
20				2.91
30				3.35
	2.54	3.10	3.30	N

(*) Significatifs au niveau de 0,05.
(**) Valeurs exactes voir Tableau I.

Les moyennes des teneurs en azote calculées pour chaque dose de potassium ne traduisent aucune tendance (voir tableau VI).

TABLEAU VI

K	17	34	51
	3.11	2.88	2.96

c. Teneur en phosphore

L'analyse de la variance et les tests-F sont résumés au tableau VII.

TABLEAU VII

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Observés	Théoriques
N	0.01596	2	0.00798	0.23	4.46
P	0.37590	2	0.18795	5.34	4.46
K	0.09780	2	0.04890	1.39	4.46
NP	0.04398	4	0.02199	0.62	3.84
NK	0.06105	4	0.01526	0.43	3.84
PK	0.14892	4	0 03723	1.66	3.84
Erreur	0.28147	8	0.03518		

L'effet du phosphore est significatif sur la teneur en phosphore. Cela traduit le fait que les moyennes des teneurs en phosphore, calculées pour chaque dose de phosphate, augmentent avec les doses (tableau VIII).

TABLEAU VIII

P	7	14	21
	0.48	0.54	0.81

d. Teneur en potassium

L'analyse de la variance et les tests-F sont résumés au tableau IX.

L'interaction NP est significative. Cela signifie que l'influence sur la teneur en potassium de chaque dose d'azote (de phosphore) dépend

TABLEAU IX

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Observés	Théoriques
N	3.68550	2	1.84275	3.35	4.46
P	9.27384	2	4.63692	8.41	4.46
K	4.69626	2	2.34813	4.27	4.46
NP	10.40919	4	2.60230	4.73	3.84
NK	0.58086	4	0.14521	0 26	3.84
PK	0.46638	4	0.11659	0.21	3.84
Erreur	4.40077	8	0.55010	0.21	3.84

de la dose correspondante de phosphore (d'azote). Cette influence n'existe pas pour les deux premières doses. Elle existe aux doses extrêmes. On voit, par exemple, au tableau X que la moyenne de la combinaison (N = 30, P = 21) accuse une augmentation incompatible avec la tendance générale du tableau.

TABLEAU X

N	P		
	7	14	21
10	6.37	5 20	3.94
20	5.43	3.99	3.5
30	4.7	3.82	4.34

L'effet du phosphore est également significatif sur la teneur en potassium. Cela traduit le fait que les moyennes des teneurs en potassium sont nettement décroissantes avec les doses croissantes de phosphore (voir tableau XI).

TABLEAU XI

P	7	14	21
	5.60	4.25	3.94

e. Teneur en sodium

L'analyse de la variance et les tests-F sont résumés au tableau XII.

TABLEAU XII

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Observés	Théoriques
N	0.01152	2	0.00576	0.98	4.46
P	0.00834	2	0.00417	0.71	4.46
K	0.00339	2	0.00169	0.29	4.46
NP	0.00911	4	0.00228	0.39	3.84
NK	0.00955	4	0.00239	0.41	3.84
PK	0.00621	4	0.00155	0.26	3.84
Erreur	0.04722	8	0.00590		

Aucun effet n'est significatif. Le tableau XIII reproduit les moyennes des teneurs en sodium pour chaque dose d'azote et de phosphore.

TABLEAU XIII

N	P			
	7	14	21	
10				0.18
20				0.14
30				0.12
	0.18	0.13	0.13	

f. Teneur en calcium

L'analyse de la variance et les tests-F sont résumés au tableau XIV.

TABLEAU XIV

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Observés	Théoriques
N	0.12120	2	0.06060	0.63	4.46
P	0.85854	2	0.42927	4.47	4.46
K	0.03630	2	0.01815	0.19	4.46
NP	0.27552	4	0.06888	0.72	3.84
NK	0.34965	4	0.08741	0.91	3.84
PK	0.40128	4	0.10032	1.04	3.84
Erreur	0.76938	8	0.09617		

L'effet du phosphore est significatif sur la teneur en calcium. Le tableau XV reproduit les moyennes des teneurs en calcium pour les doses croissantes de phosphore.

TABLEAU XV

P	7	14	21
	2.52	2.18	2.00

g. Teneur en magnésium

L'analyse de la variance et les tests-F sont résumés au tableau XVI.

TABLEAU XVI

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Observés	Théoriques
N	0.08834	2	0.01917	2.42	4.46
P	0.02430	2	0.01215	1.53	4.46
K	0.01680	2	0.00840	1.06	4.46
NP	0.00965	4	0.00241	0.30	3.84
NK	0.00447	4	0.00112	0.14	3.84
PK	0.01392	4	0.00348	0.44	3.84
Erreur	0.06337	8	0.00792		

Aucun effet n'est significatif. Le tableau XVII reproduit néanmoins les moyennes des teneurs en magnésium pour les doses de phosphore et d'azote. Les décroissances observées ne sont toutefois pas significatives.

TABLEAU XVII

N	P			
	7	14	21	
10				0.42
20				0.40
30				0.38
	0.48	0.41	0.39	

h. Teneur en fer

L'analyse de la variance et les tests-F sont résumés au tableau XVIII.

TABLEAU XVIII

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Observés	Théoriques
N	0.00030	2	0.00015	0.7	4.46
P	0.00030	3	0.00015	0.7	4.46
K	0.00006	2	0.00003	0.01	4.46
NP	0.00009	4	0.000002	0.009	3.84
NK	0.00111	4	0.00028	1.3	3.84
PK	0.00069	4	0.00017	0.8	3.48
Erreur	0.00168	8	0.00021		

Aucun effet n'est significatif.

i. Conclusions

D'une manière générale, la signification est voilée par la variation résiduelle. Toutes choses restant égales, on peut espérer réduire la variation résiduelle en répétant les essais. On peut montrer que l'effet des doses d'azote serait significatif sur la teneur en azote s'il y avait plus de deux répétitions. Par contre, il faudrait plus de 5 répétitions pour que l'effet des doses d'azote soit significatif sur la teneur en phosphore et plus de 10 répétitions pour que les doses de potassium soient significatives sur la teneur en fer.

§ 3. RELATIONS ENTRE LA FUMURE ET LES DIMENSIONS DES FEUILLES ET DES RAMEAUX

Ce problème est résolu par la même technique que le problème précédent. Les tableaux XIX, XX et XXI résument les constatations.

TABLEAU XIX

Analyse de la variance et tests-F. Moyennes des largeurs des feuilles

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Observés	Théoriques
N	13.306	2	6.653	1.54	4.46
P	27.149	2	13.375	3.14	4.46
K	10.406	2	5.203	1.20	4.46
NP	44.518	4	11.130	2.57	3.84
NK	5.375	4	1.344	0.31	3.84
PK	48.495	4	12.124	2.80	3.84
Erreur	34.604	8	4.325		

Moyennes des largeurs des feuilles en mm

	P_2O_5				K_2O		
	7.0	14	21		17	34	51
10	28.0	33.1	32.0	31.00	26.7	32.7	31.4
N 20	33.8	32.8	32.7	33.11	33.5	33.0	32.2
30	29.0	32.8	33.9	31.97	32.9	32.9	32.9
	30.25	32.93	32.88		31.0	32.9	32.2

TABLEAU XX

Analyse de la variation et tests-F. Moyennes des largeurs des rameaux

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Observés	Théoriques
N	3.22	2	1.610	0.73	4.46
P	96.39	2	48.194	2.20	4.46
K	81.02	2	40.511	1.84	4.46
NP	61.12	4	15.280	0.70	3.84
NK	12.18	4	3.044	0.14	3.84
PK	111.39	4	42.848	1.95	3.84
Résidu	175.38	8	21.923		
Total	600.70				

Moyennes des longueurs des rameaux en centimètres

	P_2O_5				K_2O		
	7	14	21		17	34	51
10	33.8	42.9	36.8	37.80	33.8	38.9	30.5
N 20	36.5	37.6	36.7	36.90	42.2	40.1	38.0
30	33.0	39.0	38.0	36.90	43.1	33.4	35.0
	34.4	40.0	37.1		39.7	37.5	34.5

TABLEAU XXI

Analyse de la variance et tests-F. Moyennes des diamètres des rameaux

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F	
				Obtenus	Théoriques
N	0.122	2	0.061	0.54	4.46
P	0.274	2	0.137	1.21	4.46
K	0.818	2	0.409	3.63	4.46
NP	0.106	4	0.027	0.23	3.86
NK	0.037	4	0.009	0.08	3.86
PK	0.216	4	0.054	0.47	3.86
Résidu	0.900	8	0.112		
Total	2.475				

Moyennes des diamètres des rameaux en mm

	P_2O_5				K_2O		
	7	14	21		17	34	51
10	3.33	3.73	3.70	3.58	3.60	3.43	3.00
N 20	3.50	3.60	3.57	3.55	3.80	3.70	3.40
30	3.20	3.57	3.43	3.40	3.93	3.40	3.37
	3.34	3.63	3.56		3.78	3.51	3.26

Il n'y a pas de relations évidentes entre la fumure et les relevés physiques, concernant tant les feuilles que le bois. Mais certaines tendances semblent se dessiner. Résumons-les : il y a une influence du phosphore sur la largeur des feuilles et, dans une mesure plus atténuée, sur la longueur des rameaux. On peut constater que, dans une certaine mesure, la potasse agit sur le diamètre du bois, tandis qu'une influence cumulée de N et de P se manifeste dans la largeur des feuilles. Les tableaux des tendances, exprimées en moyennes des dimensions, permettent de constater le sens des relations. Nous y voyons que le phosphore élargit les feuilles, les doses élevées de la potasse diminuent le diamètre des rameaux. Les moyennes des dimensions correspondant aux doses de chaque fumure sont reprises à la figure 2.

On peut supposer qu'en augmentant le nombre des répétitions certaines tendances deviendraient significatives. Le nombre de répétitions

nécessaires pour rendre, toutes choses restant égales, les relations significatives au niveau de 0.05, sont, pour les diamètres des rameaux, 8, 4 et 2 : pour la longueur des rameaux 10, 2 et 2 et pour la largeur des feuilles 2, 2 et 3, respectivement pour N, P et K.

§ 4. RELATIONS ENTRE LES CARACTERES PHYSIQUES ET LA COMPOSITION MINERALE DES FEUILLES

Le problème du rapport entre la composition des feuilles en éléments minéraux et les dimensions observées des feuilles et des rameaux est un point essentiel de la discussion, surtout à la suite de l'absence de relations significatives entre la fumure et les caractères physiques observés.

Les relations envisagées ont été étudiées, tout d'abord, au moyen des tests de Blakeman (cf. Vessereau). Nous avons été amenés à calculer le coefficient de corrélation r entre les dimensions et la composition ; on a

$$r = \frac{\frac{1}{N}\ \Sigma\, xy \quad - \bar{x}\,\bar{y}}{\sqrt{\left(\frac{1}{N}\ \Sigma x^2 - \bar{x}^2\right)\left(\frac{1}{N}\ \Sigma y^2 - \bar{y}^2\right)}}$$

où N est l'effectif des observations x et y, $\bar{x}$ et $\bar{y}$ représentant les moyennes, à savoir :

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\ \Sigma x \qquad \text{et } \bar{y} = \frac{1}{N}\ \Sigma y.$$

Nous avons également calculé le rapport de corrélation

$$\eta^2_{y/x} = \frac{\Sigma\ n_i\ (\bar{y}_i - \bar{y})}{\Sigma\ (y - \bar{y})^2}$$

où n_i est l'effectif des y dans le i^e intervalle de la partition des x et où $\bar{y}_i$ est la moyenne de ces y, à savoir, $y_i = \frac{1}{n_i}\ \Sigma y$, la sommation s'étendant seulement aux y du i^e intervalle. Les x ont été partagés en 4 intervalles. L'effectif total N étant égal à 27, le résidu de l'analyse de la variance a donc 23 degrés de liberté.

On a choisi pour x, c'est-à-dire pour variable indépendante, la teneur des feuilles et pour y, c'est-à-dire pour variable dépendante, le caractère physique considéré.

Les tests de Blakeman sont résumés aux tableaux XXII, XXIII et XXIV.

TABLEAU XXII

Tests de Blakeman pour les couples largeur-teneur, la teneur étant considérée comme variable indépendante

Largeur des feuilles — Teneur en azote de ces feuilles

$r^2 = 0.085$
$F^2 = 183.87$
$\eta^2 = 0.231$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	26.85	2	13.43	2.18	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	42.44	3	14.15	2.30	3.03	indépendance
3. Erreur	141.396	23	6.15			

Largeur des feuilles — Teneur en P_2O_5 de ces feuilles

$r^2 = 0.083$
$F^2 = 183.87$
$\eta^2 = 0.186$

1. Déviation par rapport à la droite	18.939	2	9.469	1.45	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	34.251	3	11.417	1.75	3.03	indépendance
3. Erreur	149.670	23	6.507			

Largeur des feuilles — Teneur en K_2O de ces feuilles

$r^2 = 0.001$
$F^2 = 183.87$
$\eta^2 = 0.281$

1. Déviation par rapport à la droite	61.484	2	25.742	4.48	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	51.609	3	17.203	2.99	3.03	presque dépendance
3. Erreur	132.203	23	5.747			

Largeur des feuilles — Teneurs en CaO de ces feuilles

$r^2 = 0.099$
$F^2 = 183.87$
$\eta^2 = 0.433$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F		Remarques
				observés	théoriques	
1. Déviation par rapport à la droite	61.413	2	30.706	6.77	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	79.578	3	26.526	5.85	3.03	dépendance
3. Erreur	104.254	23	4.533			

Largeur des feuilles — Teneur en Na_2O de ces feuilles

$r^2 = 0.081$
$F^2 = 183.87$
$\eta^2 = 0.147$

1. Déviation par rapport à la droite	30.89	2	15.45	2.51	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	42.44	3	14.15	2.30	3.03	indépendance
3. Erreur	141.396	23	6.15			

Largeur des feuilles — Teneur en MgO de ces feuilles

$r^2 = 0.081$
$F^2 = 183.87$
$\eta^2 = 0.223$

1. Déviation par rapport à la droite	40.979	2	20.489	3.35	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	40.979	3	13.659	2.24	3.03	indépendance
3. Erreur	142.867	23	6.116			

Largeur des feuilles – Teneur en Fe_2O_3 de ces feuilles

$r^2 = 0.004$
$F^2 = 183.87$
$\eta^2 = 0.070$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	12.135	3	4.045	0.52	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	12.854	4	3.214	0.41	0.41	indépendance
3. Erreur	170.999	22	7.772			

TABLEAU XXIII

Tests de Blakeman pour les couples longueur-teneur, la teneur étant considérée comme variable indépendante

Longueur des rameaux – Teneur en azote de ces feuilles

$r^2 = 0.121$
$F^2 = 600.7$
$\eta^2 = 0.210$

1. Déviation par rapport à la droite	53.462	2	26.731	1.30	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	126.145	3	42.048	2.03	3.03	indépendance
3. Erreur	474.553	23	20.633			

Longueur des rameaux – Teneur en P_2O_5 de ces feuilles

$r^2 = 0.163$
$F^2 = 600.7$
$\eta^2 = 0.193$

1. Déviation par rapport à la droite	19.222	2	9.611	0.45	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	116.984	3	38.994	1.83	3.03	indépendance
3. Erreur	483.564	23	21 245			

Longueur des rameaux — Teneur en K_2O de ces feuilles $r^2 = 0.077$ $F^2 = 600.7$ $\eta^2 = 0.115$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	22.830	2	11.415	0.49	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	69.203	3	23.068	0.99	3.03	indépendance
3. Erreur	531.62	23	23.114			

Longueur des rameaux — Teneur en CaO de ces feuilles $r^2 = 0.073$ $F^2 = 600.7$ $\eta^2 = 0.213$

1. Déviation par rapport à la droite	84.098	2	42.099	2.04	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	128.009	3	42.670	2.07	3.03	indépendance
3. Erreur	472.751	23	20.554			

Longueur des rameaux — Teneur en Na_2O de ces feuilles $r^2 = 0.014$ $F^2 = 600.7$ $\eta^2 = 0.213$

1. Déviation par rapport à la droite	69.081	2	34.542	1.52	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	77.555	3	25.852	1.14	3.03	indépendance
3. Erreur	523.210	23	23.748			

$r^2 = 0.006$
Longueur des rameaux — Teneur en MgO de ces feuilles $F^2 = 600.7$
$\eta^2 = 0.026$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	12.014	2	600.7	0.23	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	15.676	3	5.225	0.21	3.03	indépendance
3. Erreur	585.082	23	25.438			

$r^2 = 0.001$
Longueur des rameaux — Teneur en Fe_2O_3 de ces feuilles $F^2 = 600.7$
$\eta^2 = 0.114$

1. Déviation par rapport à la droite	67.879	3	22.626	0.93	3.05	linéarité
2. Différence entre les classes	68.195	4	17.049	0.70	2.82	indépendance
3. Erreur	532.22	22	24.191			

TABLEAU XXIV

Tests de Blakeman pour les couples diamètre-teneur, la teneur étant considérée comme variable indépendante

$r^2 = 0.051$
Diamètre des rameaux — Teneur en azote de ces feuilles $F^2 = 2.475$
$\eta^2 = 0.143$

1. Déviation par rapport à la droite	0.228	2	0.114	1.24	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	2.475	3	0.825	8.96	3.03	dépendance
3. Erreur	2.121	23	0.092			

Diamètre des rameaux — Teneur en P_2O_5 de ces feuilles

$r^2 = 0.213$
$F^2 = 2.475$
$\eta^2 = 0.235$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	0.0544	2	0.072	0.33	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.583	3	0.194	2.36	3.03	indépendance
3. Erreur	1.893	23	0.082			

Diamètre des rameaux — Teneur en K_2O de ces feuilles

$r^2 = 0.019$
$F^2 = 2.475$
$\eta^2 = 0.285$

1. Déviation par rapport à la droite	0.658	2	0.329	4.27	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	0.705	3	0.235	3.06	3.01	dépendance
3. Erreur	1.770	23	0.077			

Diamètre des rameaux — Teneur en CaO de ces feuilles

$r^2 = 0$
$F^2 = 2.475$
$\eta^2 = 0.285$

1. Déviation par rapport à la droite	0.1675	2	0.0837	0.83	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.1675	3	0.0558	0.56	3.03	indépendance
3. Erreur	2.3067	23	0.1003			

Diamètre des rameaux — Teneur en Na_2O de ces feuilles $r^2 = 0.018$, $F^2 = 2.475$, $\eta^2 = 0.094$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	0.1881	2	0.094	0.96	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.2333	3	0.078	0.81	3.03	indépendance
3. Erreur	2.242	23	0.097			

Diamètre des rameaux — Teneur en MgO de ces feuilles $r^2 = 0.030$, $F^2 = 2.475$, $\eta^2 = 0.0344$

1. Déviation par rapport à la droite	0.0109	2	0.0055	0.05	3.43	linéarité
2. Différence entre les classes	0.0853	3	0.0284	0.27	3.03	indépendance
3. Erreur	2.3900	23	0.0139			

Diamètre des rameaux — Teneur en Fe_2O_3 de ces feuilles $r^2 = 0.007$, $F^2 = 2.475$, $\eta^2 = 0.030$

1. Déviation par rapport à la droite	0.057	3	0.019	0.17	3.05	linéarité
2. Différence entre les classes	0.073	4	0.018	0.17	2.82	indépendance
3. Erreur . .	2.401	22	0.109			

— la largeur des feuilles dépend de la teneur en K_2O et CaO dans les feuilles. Elle est indépendante des autres éléments rapprochés ;

— la longueur des bois, indépendante des fumures comme nous l'avons déjà signalé au chapitre précédent, est également indépendante de la composition des feuilles ;

— le diamètre des rameaux dépend de l'azote et de la potasse contenus dans les feuilles.

Les diagrammes de la figure 3 illustrent ces relations.

Evidemment, puisque les caractères physiques des feuilles dépendent en premier lieu de leur composition, il devrait en être normalement de même pour les rameaux. Il est probable qu'il y a une corrélation entre les compositions des feuilles et des rameaux puisque nous avons mis en évidence une corrélation entre la composition des feuilles et la dimension des rameaux.

Il est facile de montrer qu'il y a une dépendance presque linéaire entre le diamètre et la longueur des rameaux (tableau XXV).

TABLEAU XXV

Tests de Blakeman pour les couples longueur-largeur, diamètre-largeur et diamètre-longueur

Longueur-largeur $r^2 = 0.173$ $F^2 = 600.7$ $\eta^2 = 0.475$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	181.41	2	90.70	4.20	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	285.58	3	95.19	4.41	3.03	dépendance
3. Erreur	496.78	23	21.60			

L'étude de la dépendance entre les caractères physiques et la composition minérale des feuilles a également été faite au moyen du test de Olmsted et Tukey appelé dans la littérature statistique anglo-saxonne « cornertest ».

Diamètre-largeur $r^2 = 0.022$ $F^2 = 2.475$ $\eta^2 = 0.475$

1. Déviation par rapport à la droite	0.589	2	0.294	4.32	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	0.645	3	0.215	3.16	3.03	dépendance
3. Erreur	1.832	23	0.068			

Diamètre-longueur $r^2 = 0.419$ $F^2 = 2.475$ $\eta^2 = 0.592$

1. Déviation par rapport à la droite	0.428	2	0.214	3.40	3.42	presque linéarité
2. Différence entre les classes	1.466	3	0.429	7.76	3.03	dépendance
3. Erreur	1.438	23	0.063			

L'application de ce test n'implique pas le choix à priori d'une variable indépendante et d'une variable dépendante. L'hypothèse testée exprime simplement que les deux variables envisagées sont distribuées indépendamment l'une de l'autre.

Le test de Olmsted et Tukey est décrit dans Mood (1950). Il consiste en la détermination graphique d'un paramètre dont les valeurs sont reprises au tableau XXVI. La figure 4 reproduit la méthode du calcul de ce paramètre pour les couples Na_2O-longueur et MgO-largeur. Lorsque la valeur observée est supérieure à + 11 ou inférieure à — 11, cela signifie qu'il y a dépendance (en probabilité).

Nous remarquons au tableau XXVI qu'on ne peut conclure à la dépendance, dans aucun cas. Ce résultat est en désaccord avec celui du test de Blakeman pour les couples N-diamètre, K_2O-diamètre, K_2O-largeur et CaO-largeur. Ces divergences résultent du fait que le test de Blakeman est conditionné par le choix à priori d'une variable indépendante, tandis que le test d'Olmsted-Tukey n'implique pas ce choix. D'ailleurs en ce qui concerne, par exemple, le couple N-diamètre, le test de Blakeman est, lorsqu'on permute les variables, conforme au résultat du test d'Olmsted-Tukey.

TABLEAU XXVI

Valeurs de r pour les différents couples élément-caractère physique

	Largeur	Longueur	Diamètre
N	7	5	3
P_2O_5	6	8	6
K_2O	— 2	—6	—4
Na_2O	— 6	—1	—2
CaO	— 4	—5	—7
MgO	—11	3	2
Fe_2O_3	3	2	—4

§ 5. RELATIONS ENTRE LES ELEMENTS MINERAUX DES FEUILLES

Un problème très étudié, mais mal connu jusqu'à présent, est celui des relations entre les éléments retrouvés dans la matière végétale. Nous mettons ici en évidence les résultats obtenus dans cet essai. Les résultats de l'analyse statistique sont résumés au tableau XXVII et illustrés par des diagrammes (cf. fig. 5).

TABLEAU XXVII

Tests de Blakeman pour les couples d'éléments retrouvés dans les feuilles

N % — P_2O_5 % $\quad r^2 = 0.139 \quad r = 0.373 \quad F^2 = 1.025 \quad \eta^2 = 0.203$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	0.066	2	0.033	0.92	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.208	3	0.069	1.92	3.03	indépendance
3. Erreur	0.817	23	0.036			

N % — K_2O % $r^2 = 0.564$ $F^2 = 31.957$ $\eta^2 = 0.578$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	0.735	2	0.367	0.63	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	18.764	3	6.255	10.89	3.03	dépendance
3. Erreur	13.198	23	0.574			invers. proport.

N % — Na_2O % $r^2 = 0.056$ $F^2 = 0.172$ $\eta^2 = 0.061$

1. Déviation par rapport à la droite	0.00086	2	0.00043	0.06	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	1.051	3	0.350	50.—	3.03	dépendance
3. Erreur	0.162	23	0.007			invers. proport.

N % — CaO % $r^2 = 0.045$ $F^2 = 2.812$ $\eta^2 = 0.271$

1. Déviation par rapport à la droite	0.636	2	0.318	3.57	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	0.763	3	0.254	2.85	3.03	indépendance
3. Erreur	2.050	23	0.089			

N % — MgO % $r^2 = 0.316$ $F^2 = 0.171$ $\eta^2 = 0.377$

1. Déviation par rapport à la droite	0.010	2	0.005	1.06	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.064	3	0.021	4.46	3.03	dépendance
3. Erreur	0.107	23	0.0047			invers. proport.

$N\ \% - Fe_2O_3\ \%$ $r^2 = 0.088$ $F^2 = 0.004149$ $\eta^2 = 0.197$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	0.000452	2	0.000226	1.55	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.000818	3	0.000273	1.88	3.03	indépendance
3. Erreur	0,003332	23	0.000145			

$P_2O_5\ \% - K_2O\ \%$ $r^2 = 0.184$ $F^2 = 31.957$ $\eta^2 = 0.284$

1. Déviation par rapport à la droite	3.196	2	1.598	1.62	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	9.066	3	3.022	3.08	3.03	dépend. invers. prop.
3. Erreur	22.561	23	0.981			

$P_2O_5\ \% - Na_2O\ \%$ $r^2 = 0.0004$ $F^2 = 0.172$ $\eta^2 = 0.063$

1. Déviation par rapport à la droite	0.0114	2	0.0057	0.82	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.0114	3	0.0038	0.54	3.03	indépendance
3. Erreur . . .	0.1614	23	0.0070			

$P_2O_5\ \% - CaO\ \%$ $r^2 = 0.173$ $F^2 = 2.812$ $\eta^2 = 0.242$

1. Déviation par rapport à la droite	0 194	2	0.097	1.04	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.680	3	0.227	2.44	3.03	indépendance
3. Erreur	2 131	23	0.023			

P_2O_5 % — MgO % $r^2 = 0.0006$ $F^2 = 0.171$ $\eta^2 = 0.273$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	0.0445	2	0.0222	4.18	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	0.0466	3	0.0155	2.92	3.03	indépendance
3. Erreur	0.124	23	0.0053			

P_2O_5 % — Fe_2O_3 % $r^2 = 0.0001$ $F^2 = 0.004149$ $\eta^2 = 0.208$

1. Déviation par rapport à la droite	0.000864	2	0.000432	3.02	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.000863	3	0.000288	2.01	3.03	indépendance
3. Erreur	0.003286	23	0.000143			

K_2O % — Na_2O % $r^2 = 0.147$ $F^2 = 0.172$ $\eta^2 = 0.407$

1. Déviation par rapport à la droite	0.045	2	0.0225	5.11	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	0.070	3	0.0233	5.29	3.03	dépendance
3. Erreur	0.102	23	0.044			

K_2O % — CaO % $r^2 = 0.089$ $F^2 = 2.812$ $\eta^2 = 0.323$

1. Déviation par rapport à la droite	0.658	2	0.329	3.96	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	0.910	3	0.303	3.65	3.03	dépendance
3. Erreur	1.904	23	0.083			

K_2O % — MgO % $r^2 = 0.237$ $F^2 = 0.171$ $\eta^2 = 0.474$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	0.040	2	0.020	0.51	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.081	3	0.027	0.69	3.03	indépendance
3. Erreur	0.899	23	0.039			

K_2O % — Fe_2O_3 % $r^2 = 0.261$ $F^2 = 0.00414$ $\eta^2 = 0.366$

1. Déviation par rapport à la droite	0.0004	2	0.0002	1.76	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.0015	3	0.0005	4.42	3.03	dépendance
3. Erreur	0.0026	23	0.000113			

Na_2O % — CaO % $r^2 = 0.084$ $F^2 = 2.812$ $\eta^2 = 0.102$

1. Déviation par rapport à la droite	0.0506	2	0.0253	0.23	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.2870	3	0.0957	0.87	3.03	indépendance
3. Erreur	2.525	23	0.1098			

Na_2O % — MgO % $r^2 = 0.264$ $F^2 = 0.171$ $\eta^2 = 0.413$

1. Déviation par rapport à la droite	0.0255	2	0.0127	2.88	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.0707	3	0.0236	5.36	3.03	dépendance
3. Erreur	0.1004	23	0.0044			

Na_2O % — Fe_2O_3 % $r^2 = 0.038$ $F^2 = 0.00414$ $\eta^2 = 0.110$

Sources de variations	Variations totales	Degrés de liberté	Variations moyennes	F observés	F théoriques	Remarques
1. Déviation par rapport à la droite	0.000298	2	0.000149	0.93	3.42	linéarité
2. Différence entre les classes	0.000455	3	0.000152	0.95	3.03	indépendance
3. Erreur	0.003684	23	0.000160			

CaO % — MgO % $r^2 = 0.001$ $F^2 = 0.171$ $\eta^2 = 0.237$

1. Déviation par rapport à la droite	0.0404	2	0.0202	3.54	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	0.0406	3	0.0135	2.36	3.03	indépendance
3. Erreur	0.1305	23	0.0057			

CaO % — Fe_2O_3 % $r^2 = 0.150$ $F^2 = 0.00414$ $\eta^2 = 0.652$

1. Déviation par rapport à la droite	0.00208	2	0.00104	1.73	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	0.00270	3	0.00090	1.50	3.03	dépendance
3. Erreur	0.00144	23	0.00006			

MgO % — Fe_2O_3 % $r^2 = 0.224$ $F^2 = 0.00414$ $\eta^2 = 0.464$

1. Déviation par rapport à la droite	0.00100	2	0.00050	5.15	3.42	non linéarité
2. Différence entre les classes	0.00192	3	0.00064	6.59	3.03	dépendance
3. Erreur	0.00223	23	0.000097			

On observe que l'azote dans les feuilles règle la teneur de la potasse, du sodium et de la magnésie ; réciproquement, l'azote subit des influences inversement proportionnelles de la part de ces trois éléments. Mais remarquons que le calcium, quoique administré conjointement avec l'azote, sous forme d'un nitrate de calcium, se comporte indépendamment. Une grande partie des fonctions est linéaire.

Le phosphore dépend de la potasse, cette dépendance est inversement proportionnelle.

La potasse dépend et de l'azote et du phosphore, mais également elle règle la teneur en sodium, calcium et fer. Le magnésium semble dépendre également du fer ; tandis que le sodium dont nous avons signalé déjà la dépendance vis-à-vis de l'azote, dépend aussi de la magnésie (et réciproquement).

Passons de ces corrélations simples aux corrélations multiples entre N, P et K.

Nous étudierons tout d'abord les liaisons d'un élément par rapport au couple formé des deux autres.

Les variables N et P étant considérées comme indépendantes, la variable K comme dépendante, on a :

$$R_{K,NP} = 0.77.$$

De même on a :

$$R_{P,NK} = 0.44 \qquad \text{et} \quad R_{N,PK} = 0.76.$$

On observe que les coefficients $R_{K,NP}$ et $R_{N,PK}$ sont très hautement significatifs (niveau 0,1 %), tandis que le coefficient $R_{P,NK}$ n'est pas significatif.

Ce résultat est en parfait accord avec la haute corrélation entre l'azote et le potassium observée dans l'étude des corrélations simples.

Considérons maintenant la corrélation entre deux éléments, en éliminant le troisième. La corrélation partielle, définie de cette manière, permet d'estimer la liaison « pure » entre deux éléments, c'est-à-dire dégagée des liaisons qui pourraient exister entre chacun d'eux et le troisième. On a :

$$R_{NP,K} = 0.839, \qquad R_{NK,P} = 0.704 \qquad \text{et} \qquad R_{PK,N} = 0.245.$$

On observe que les deux premiers coefficients sont très hautement significatifs (niveau 0,1 %) tandis que le troisième n'est pas significatif.

On a observé l'indépendance de N et P. Mais on constate, après élimination de K, que N et P sont hautement « corrélés ». Autrement dit, l'influence de K sur N et sur P contrarie la liaison entre ces deux éléments.

§ 6. CONCLUSIONS FINALES

La relation entre la fumure et la composition minérale des feuilles met en évidence l'accumulation du phosphore dans les feuilles, suite à l'enrichissement en cet élément du milieu. Le phosphore de la fumure agit également sur la potasse et le calcium.

Il n'y a pas d'effet des fumures sur les dimensions des feuilles et des rameaux. Par contre il y a une corrélation entre la teneur en certains éléments des feuilles et les dimensions de ces feuilles, ce qui peut être mis également en évidence pour les rameaux et la composition des feuilles.

Le point essentiel, c'est l'interdépendance des éléments minéraux observés dans les feuilles. Résumons les dépendances significatives :

— entre d'une part l'azote et d'autre part la potasse, le sodium, la magnésie ;

entre l'azote et le phosphore, après élimination de la potasse ;

— entre le phosphore et le potassium ;

— entre d'une part la potasse et d'autre part le sodium, le calcium et le fer :

— entre le sodium et la magnésie ; le calcium et le fer ; le magnésium et le fer.

Nous attirons l'attention du lecteur sur le fait que la valeur significative des résultats se rapporte uniquement à l'essai.

Nous remercions M. le Professeur A. Lecrenier, Président du Comité National pour l'Etude de la Culture fruitière et M. E. Dermine, Secrétaire général du Comité, pour l'aide matérielle et la mise à notre disposition des rapports que cette publication mentionne. Les travaux concernant cette publication ont été conduits et achevés au Laboratoire de Biologie végétale, dirigé par M. le Professeur Dr A. Willam.

Nous remercions enfin notre aide technique M. J. Vanharen qui a très largement collaboré à la réussite de cette publication.

BIBLIOGRAPHIE

(1) CAIN, J. : Agric. Exp. Sta. Geneva, N. Y. The absorbtion and distribution of mineral nutrients in apple trees as affected by nutrient supply. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 1953, **vol. 62,** pp. 53-67.

(2) DERMINE, E. : Rapports des essais en vases 1952, notes personnelles non publiées.

(3) DROSDOFF, M., BARROWS, H., LAGASSE F. and SHEAR, C. : U. S. Dep. of Agric. Cainesville. Interrelations of source of nitrogen with levels of nitrogen, calcium, and magnesium in tung nutrition. *Proc. Am. Hort. Sci. 1955*, **vol. 65,** pp. 41-49.

(4) LECRENIER, A., DERMINE, E., TRZCINSKI, T. : Etude de la relation entre la fumure, la croissance et la composition chimique des feuilles et du bois chez le pommier. Communication au XIV^me^ Congrès International d'Horticulture 1955.

(5) LECRENIER, A., TRZCINSKI, T. et DERMINE, E. : Recherche de l'influence de doses croissantes du même équilibre nutritif sur la composition minérale de divers organes du pommier au cours d'un essai en plein champ. *Bull. Inst. agr. Gembloux*, **XXIII,** n° 2, 1955.

(6) BOEUF, F. et VESSEREAU, A. : Recherche et expérimentation en Agriculture, Paris, 1948.

(7) FISHER and YATES : Statistical Tables for Biological Agricultural and Medical Research. London 1953.

(8) MOOD, A. M. : Introduction to the theory of statistics. Mac Graw Hill, 1950.

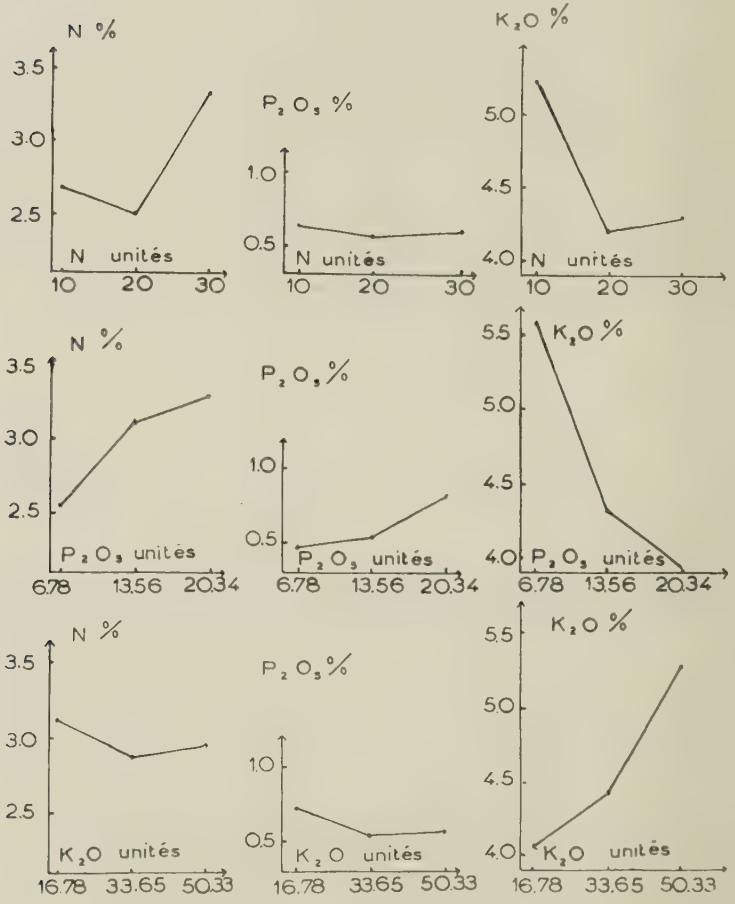


FIG. 1. – Pourcentage moyen des éléments dans la matière sèche des feuilles en fonction de la fumure

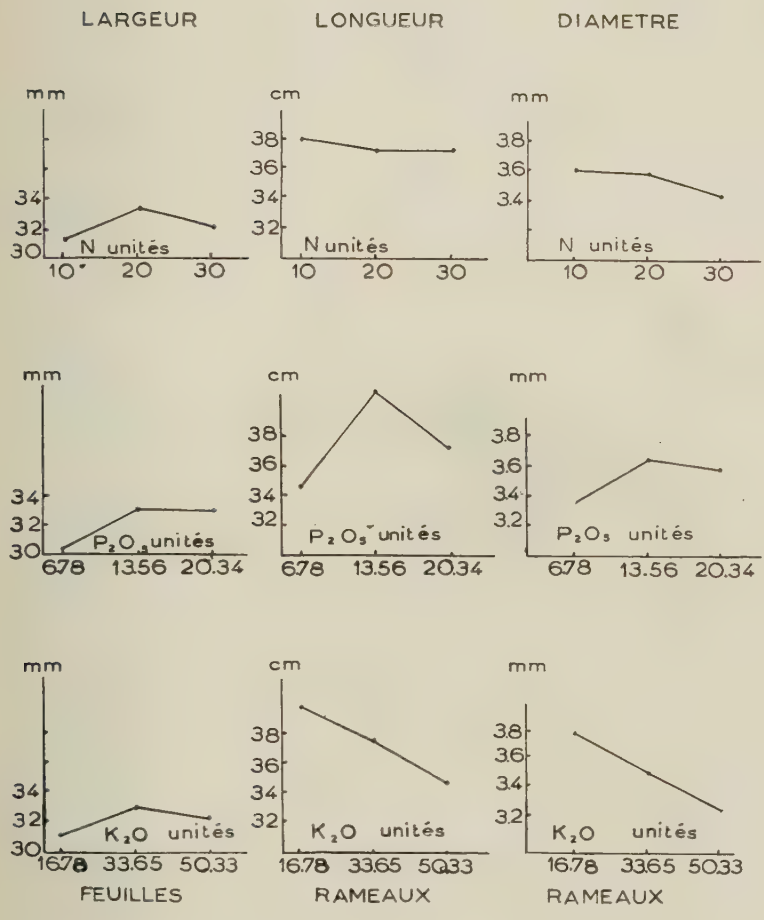


FIG. 2. — Moyennes des dimensions correspondant aux doses de chaque fumure

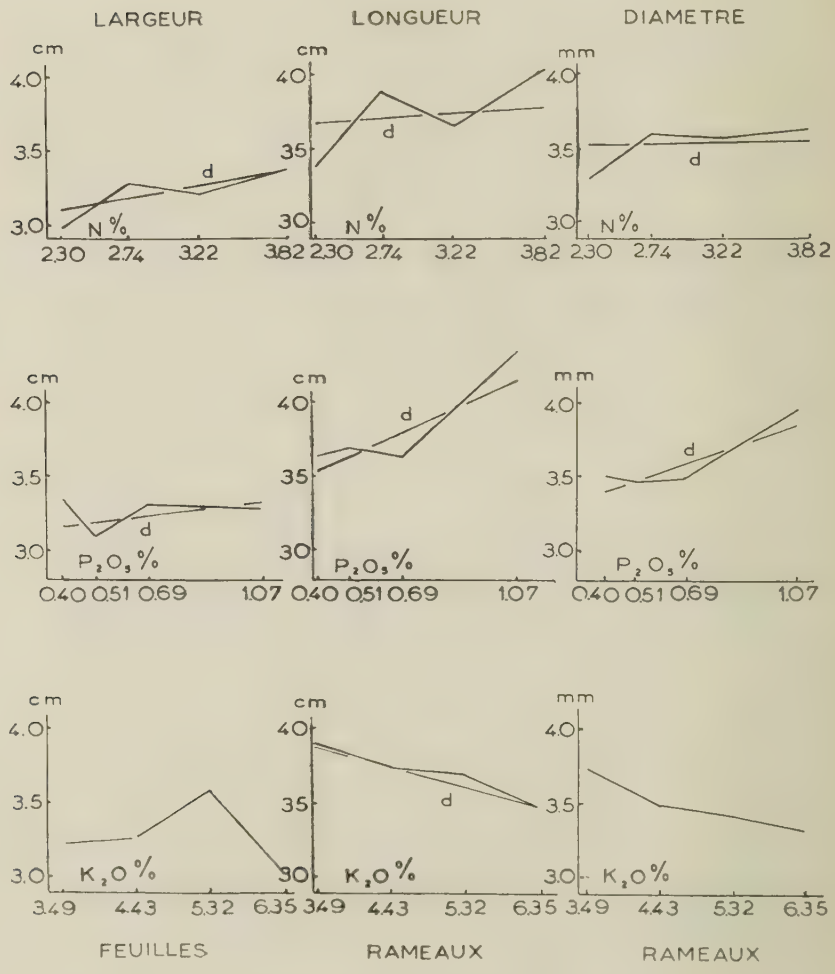


FIG. 3. — Relations entre les caractères physiques et la composition minérale des feuilles et des rameaux. d : droite de régression

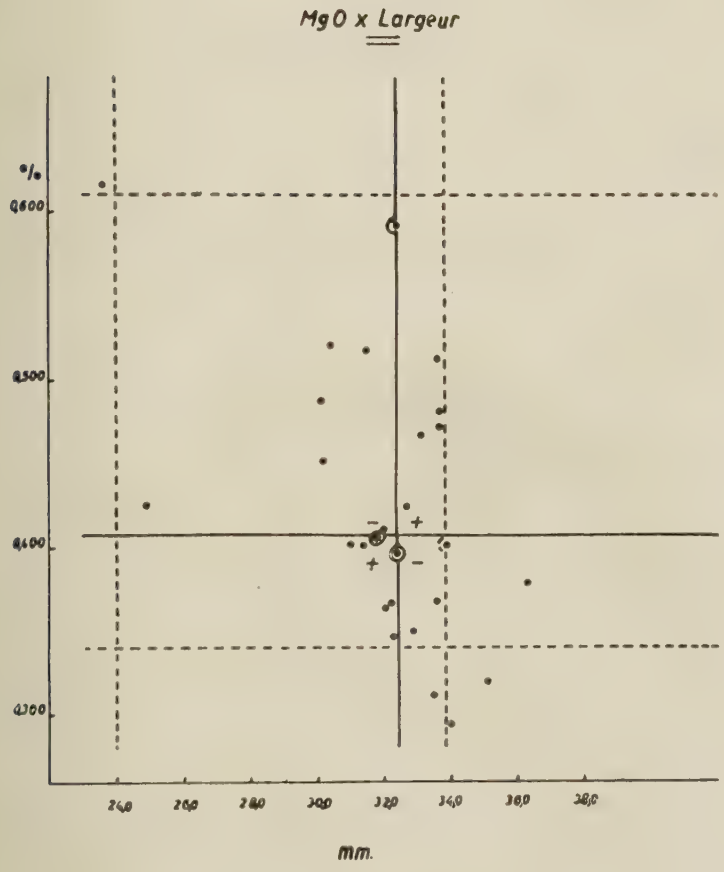


FIG. 4. — Test d'Olmsted-Tukey

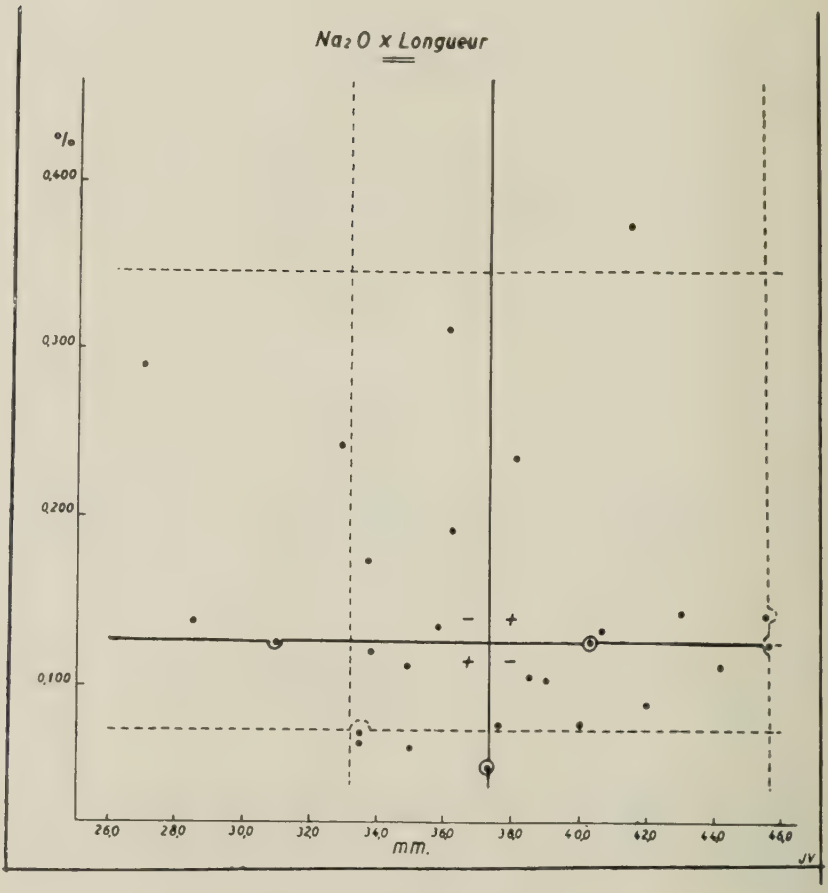


FIG. 4. — Test d'Olmsted-Tukey

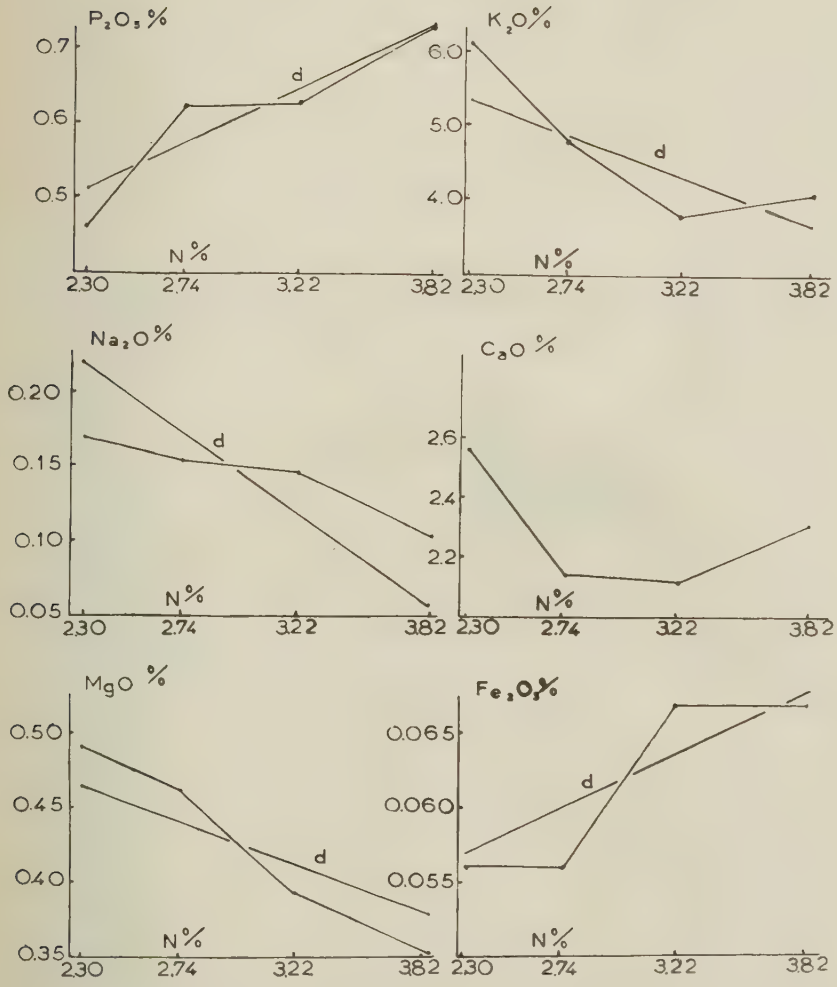


FIG. 5. — Relations entre les éléments minéraux des feuilles. d: droite de régression

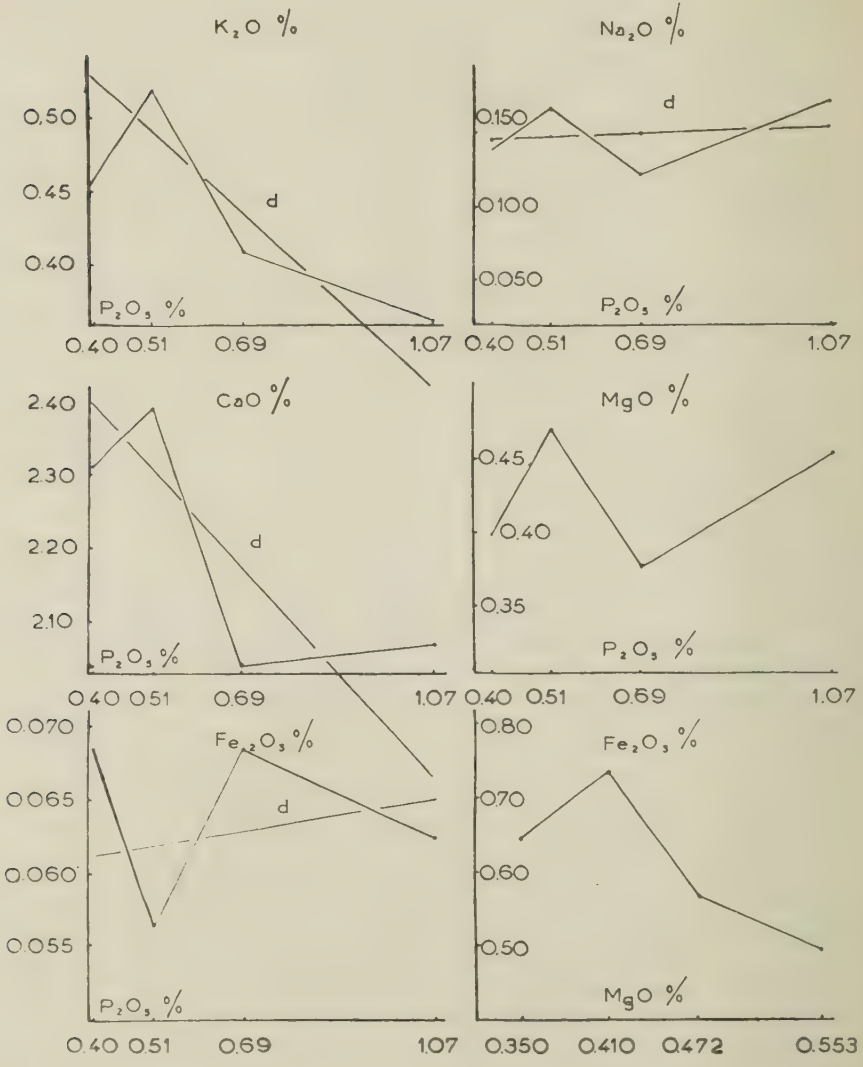


FIG. 5. — Relations entre les éléments minéraux des feuilles. d : droite de régression

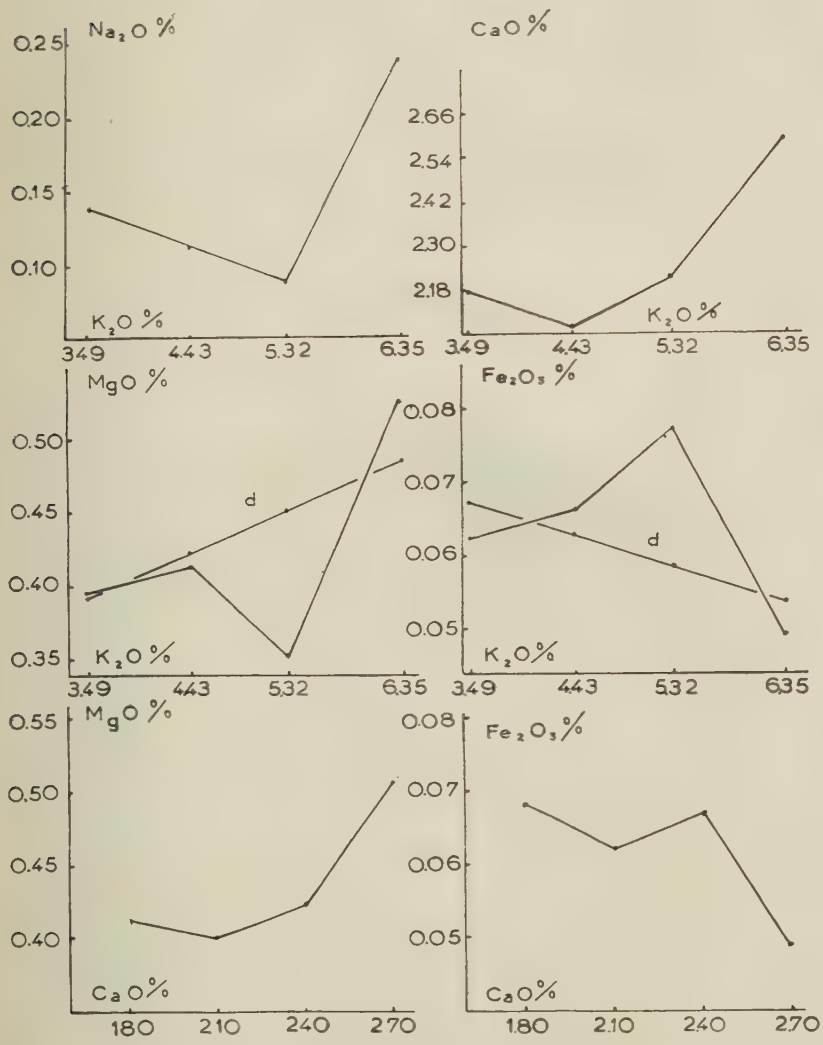


FIG. 5. — Relations entre les éléments minéraux des feuilles. *d*: droite de régression

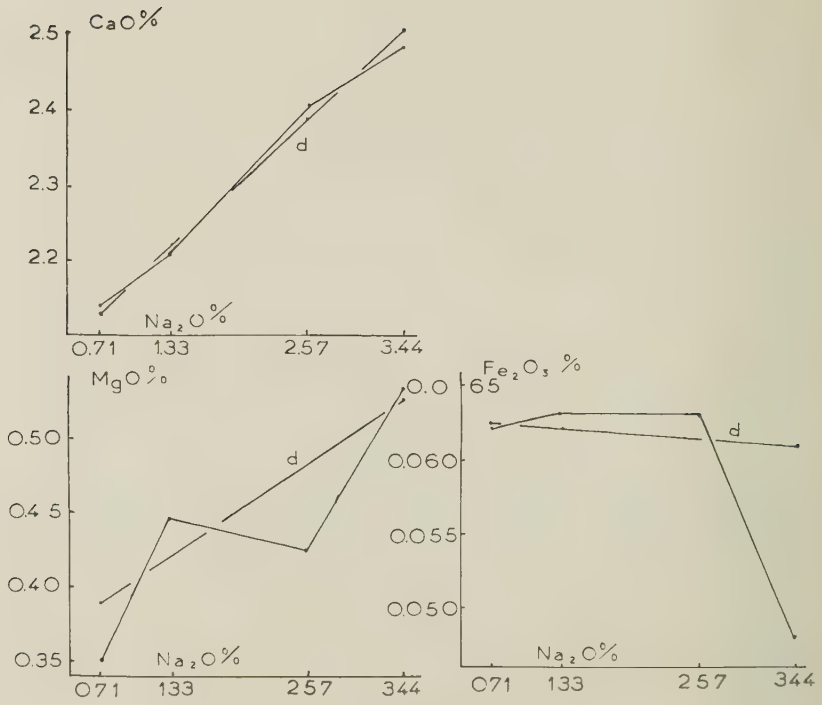


FIG. 5. — Relations entre les éléments minéraux des feuilles. d: droite de régression

STATION DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE AGRICOLES

Observations météorologiques de l'année 1956

(Poste climatologique de Gembloux)

par

G. DEMORTIER

Les relevés de 1956 sont présentés sous forme de tableaux afin de fournir le maximum de renseignements sur le minimum de pages. Dans le but de diminuer le volume de cet article, il n'est fait aucun commentaire et les graphiques ne sont plus établis.

Nous signalons que l'ordre de succession des facteurs météorologiques dans les tableaux des pages suivantes n'est pas logique : ils ont été dressés dans cet ordre pour permettre à l'éditeur d'imprimer les différents tableaux sur deux pages en regard et d'éviter des espaces laissés en blanc.

Les observations météorologiques sont les suivantes :

1er tableau : a) la radiation solaire — b) l'eau ;
2me tableau : la température : a) sous-abri — b) sur le sol ;
3me tableau : la température dans le sol ;
4me tableau : les valeurs extrêmes ou caractéristiques.

Pour chacun des facteurs examinés sont donnés les totaux :

— par décades ;
— par mois ;
— par saisons et pour l'année.

Les séries d'observations journalières ont été exécutées aux heures suivantes :

I : 7 heures (G.M.T.)
II : 13 heures (G.M.T.)
III : 18 heures : (G.M.T.)

par MM. Bauvin R. et Glibert L., préparateurs-techniciens.

A la fin de cet article, se trouvent quelques renseignements phénologiques se rapportant à la région de Gembloux, pour l'année 1956. (Observations effectuées par M. Glibert L.).

1955-1956 Mois et Saisons		RADIATION SOLAIRE						L'EAU								
		Calories gr/cm²/mi	Heures d'insolation					Précipitations				Evaporation PICHE (cm³)	Humidité relative			
			Heures possibles	Gembloux		Uccle		Haut. observ. (mm)	Moy. norm. (mm)	Nombre de jours	Jours de Neige		I	II	III	Moyen.
				Observ.	%	Observ.	%									
Décembre 1955	1-10	127.0	81	13.9	17.2	14	17.3	16.5	—	6	—		94.3	87.9	92.7	91.6
	11-20	239.9	79	17.1	21.6	13	16.4	24.3	—	7	—	—	92.8	82.8	91.3	89.0
	21-31	315.7	87	5.1	5.9	15	17.2	37.5	—	11	1	—	93.4	87.1	90.8	90.6
	Mois	682.6	247	36.1	14.6	42	17.0	78.3	80.0	24	1	—	93.4	85.3	91.6	90.4
Janvier 1956	1-10	423.6	81	18.5	22.8	16	19.7	33.9	—	8	4	—	95.3	86.6	91.8	91.2
	11-20	532.7	84	16.1	19.2	17	20.2	9.1	—	6	0	—	86.9	78.9	81.4	82.4
	21-31	662.9	98	15.3	15.6	20	20.4	48.4	—	8	4	—	88.9	82.6	87.3	86.3
	Mois	1619.2	263	49.9	19.0	53	20.2	91.4	64.0	22	8	—	90.3	82.7	86.8	86.6
Février	1-10	1042.6	94	30.7	32.6	27	27.7	9.7	—	5	5	—	85.1	76.7	83.6	81.8
	11-20	1914.4	100	40.1	40.1	29	29.0	10.2	—	3	3	—	86.3	74.1	75.8	78.7
	21-28	1626.4	85	35.8	42.1	25	29.4	3.4	—	2	0	—	91.8	79.1	84.1	85.0
	Mois	4583.4	279	106.6	38.2	81	29.0	23.3	51.0	10	8	—	87.6	76.5	81.1	81.7
Hiver		6885.2	789	192.6	23.9	176	22.3	193.0	195.0	56	17	—	90.4	81.5	86.5	86.2
Mars	1-10	1830.5	112	49.4	44.1	37	32.7	38.3	—	6	0	—	89.3	67.3	86.2	80.9
	11-20	2132.3	118	37.5	31.8	39	32.9	13.6	—	5	2	—	87.4	71.3	79.8	79.5
	21-31	2444.2	137	33.2	24.2	45	33.2	0.5	—	1	0	—	84.9	58.1	74.1	72.4
	Mois	6407.0	366	120.1	32.8	121	33.0	52.4	55.0	12	2	—	87.1	65.3	79.8	77.4
Avril	1-10	2343.6	131	41.9	32.0	51	38.9	11.3	—	3	3	12.5	85.2	66.9	75.5	75.9
	11-20	2231.5	137	26.2	19.1	53	39.0	29.9	—	7	2	16.0	94.6	77.1	86.5	86.1
	21-30	3188.7	144	56.6	39.3	56	39.2	1.4	—	1	0	20.8	87.7	59.1	73.4	73.4
	Mois	7763.8	412	124.7	30.3	161	39.0	42.6	61.0	11	5	49.3	89.1	67.7	78.5	78.4
Mai	1-10	3974.1	149	94.1	63.1	67	45.0	2.0	—	2	0	34.0	79.9	47.6	53.3	60.3
	11-20	3980.6	154	75.1	48.8	69	44.8	6.6	—	2	0	37.0	84.2	49.5	64.4	66.0
	21-31	4429.2	175	71.3	40.7	81	46.2	68.1	—	7	0	28.6	84.3	65.4	77.4	75.7
	Mois	12383.9	478	240.5	50.3	217	45.3	76.7	63.0	11	0	99.6	82.8	54.5	65.4	65.4
Printemps		26.554.7	1256	485.3	38.6	499	39.7	171.7	179.0	34	7	incom.	86.3	62.5	74.6	73.7
Semestre		33439.9	2045	677.9	33.1	675	31.0	364.7	374.0	90	22	incom.	88.3	72.0	80.5	79.9

Juin	1-10	2829.3	162	40.8	25.2	66	40.7	41.6	—	7	0	27.5	93.8	68.5	82.7	80.3
	11-20	2524.1	164	23.7	14.4	66	40.2	26.4	—	9	0	18.4	86.7	71.6	82.5	80.3
	21-30	3045.7	165	43.9	26.6	68	41.2	7.1	—	4	0	26.0	87.0	64.0	74.6	75.2
	Mois	8399.1	491	108.4	22.1	200	40.7	75.1	67.0	20	0	71.9	89.2	68.0	79.9	78.6
Juillet	1-10	3451.8	162	58.9	36.3	67	41.8	38.2	—	7	0	36.0	84.7	66.1	82.7	77.8
	11-20	2897.5	160	40.2	25.1	67	41.5	33.0	—	7	0	17.4	93.1	74.1	80.8	82.7
	21-31	3690.4	171	74.1	43.3	71	41.5	19.0	—	7	0	36.3	85.6	67.9	71.4	75.0
	Mois	10039.7	493	173.2	35.1	205	41.4	90.2	81.0	21	0	89.7	87.7	69.3	78.1	78.4
Août	1-10	1983.2	151	62.4	41.3	68	45.0	26.4	—	5	0	25.5	87.5	61.4	81.4	76.8
	11-20	1831.9	145	55.6	38.3	65	44.8	5.1	—	2	0	39.5	86.7	61.7	72.5	73.6
	21-31	2427.7	153	54.6	35.7	68	44.4	72.6	—	9	0	23.8	90.8	69.8	82.4	81.0
	Mois	6242.8	449	172.6	38.4	201	44.7	104.1	77.0	16	0	88.8	88.4	64.5	78.9	77.3
Eté		24681.6	1433	454.2	31.7	606	42.2	269.4	225.0	57	0	250.4	88.4	67.3	79.0	78.1
Sept.	1-10	1845.1	131	29.9	17.5	56	42.7	16.1	—	9	0	24.3	92.2	73.3	83.9	83.1
	11-20	2126.6	126	41.6	33.0	54	42.8	7.5	—	4	0	16.1	94.2	70.8	81.0	82.0
	21-30	2018.4	121	42.5	35.1	52	42.9	30.8	—	5	0	29.0	93.1	68.8	85.5	82.5
	Mois	5990.1	378	114.0	30.1	162	42.8	54.4	66.0	18	0	69.4	93.2	71.0	83.5	82.5
Octobre	1-10	1284.5	114	16.1	14.1	38	33.6	71.6	—	7	0	9.9	95.0	79.8	87.5	87.4
	11-20	1468.8	107	40.7	38.0	36	33.6	19.2	—	6	0	13.7	95.4	75.9	90.9	87.4
	21-31	922.4	111	22.8	20.5	39	33.7	43.6	—	9	2	13.2	95.1	80.4	91.4	88.9
	Mois	3675.7	332	79.6	24.0	113	33.6	134.4	78.0	22	2	36.8	95.2	78.7	90.0	87.9
Nov.	1-10	931.4	95	32.3	34.0	21	23.1	13.7	—	7	0	—	93.0	76.2	86.6	85.3
	11-20	535.8	89	16.3	18.3	20	23.6	23.0	—	6	0	—	95.2	87.6	93.7	92.2
	21-30	684.4	85	25.2	29.6	19	23.5	19.4	—	7	3	—	93.8	79.9	81.4	85.0
	Mois	2151.6	269	73.8	27.4	62	23.4	56.1	73.0	20	3	—	94.0	81.2	87.2	87.5
Automne		11817.4	979	267.4	27.3	337	34.5	244.9	217.0	60	5	—	94.1	77.0	86.9	86.0
Semestre		36499.0	2412	721.6	29.9	943	37.0	514.3	442.0	117	5	—	91.2	72.1	82.9	82.0
Année		69938.9	4457	1399.5	31.4	1618	34.0	879.0	816.0	207	27	—	89.7	72.0	81.7	80.9

Mois et Saisons		LA TEMPERATURE														
		SOUS-ABRI						SUR LE SOL								
		Maxima = M		Minima = m		$\frac{M+m}{2}$	M — m	T°C. à l'heure G.M.T.			nu			gazonné		
		Obs.	Moy. norm.	Obs.	Moy. norm.			7 H. (I)	13 H. (II)	18 H. (III)	M	m	M — m	M	m	M — m
Decembre 1955	1-10	7.5	—	1.6	—	4.6	5.9	4.4	6.1	5.4	7.6	0.2	7.4	8.9	— 1.3	10.2
	11-20	7.3	—	0.1	—	3.7	7.2	2.4	5.0	3.6	5.7	— 1.6	7.3	7.7	— 3.1	10.8
	21-31	7.7	—	2.0	—	4.8	5.7	4.8	6.5	6.2	6.2	0.2	6.0	7.7	— 0.1	7.8
	Mois	7.5	5.8	1.3	0.4	4.4	6.2	3.9	5.9	5.1	6.5	— 0.4	6.9	8.1	— 1.5	9.6
Janvier 1956	1-10	3.0	—	— 2.0	—	0.5	5.0	— 0.4	1.7	0.7	2.2	- 1.9	4.1	3.1	— 4.0	7.1
	11-20	6.8	—	0.7	—	3.7	6.1	3.7	5.8	4.5	4.9	— 0.9	5.8	6.5	— 2.0	8.5
	21-31	7.0	—	0.4	—	3.7	6.6	3.3	3.3	2.8	6.8	— 0.6	7.4	7.4	— 0.8	8.2
	Mois	5.6	5.1	— 0.3	—0.3	2.6	5.9	2.2	3.6	2.7	4.6	— 1.1	5.7	5.7	— 2.2	7.9
Février	1-10	—3.6	—	—10.5	—	— 7.0	6.9	— 8.1	—5.4	—6.1	—1.1	—10.2	9.1	—0.8	—11.0	10.2
	11-20	—5.5	-	—14.8	—	—10.1	9.3	—10.4	—6.2	—8.8	—1.3	—11.0	9.7	- 0.4	- -14.9	14.5
	21-28	—3.1	—	—15.6	—	— 9.4	12.5	—11.5	—4.0	—5.3	—0.9	—11.4	10.5	—1.2	—14.2	13.0
	Mois	—4.1	5.9	—13.6	—0.4	— 8.8	9.5	— 9.9	—5.2	6.8	—1.1	—10.9	9.8	—0.8	—13.7	12.9
Hiver		3.0	5.6	— 4.2	—0.1	— 0.6	7.2	— 1.3	1.4	0.3	3.3	— 4.1	7.4	4.3	— 5.8	10.1
Mars	1-10	7.2	—	1.0	—	4.1	6.2	2.6	6.1	4.1	8.3	0.4	7.9	12.4	— 3.1	15.5
	11-20	6.4	—	— 1.7	—	2.3	8.1	1.1	6.2	4.4	9.0	— 1.6	10.6	18.0	— 5.4	23.4
	21-31	14.6	—	5.1	—	9.8	9.5	7.0	13.0	10.1	18.1	3.6	14.5	25.9	1.2	24.7
	Mois	9.6	9.3	1.6	1.4	5.6	8.0	3.7	8.6	6.3	11.8	0.8	11.0	18.8	— 2.3	21.1
Avril	1-10	7.8	—	0.3	—	4.0	7.5	2.5	7.7	6.6	13.9	— 0.5	14.4	18.3	— 1.7	20.0
	11-20	10.4	—	3.2	—	6.8	7.2	4.9	8.4	7.6	16.3	2.6	13.7	20.8	1.2	19.6
	21-30	12.3	—	1.8	—	7.0	10.5	4.8	10.8	9.2	22.3	1.8	20.5	30.6	— 1.9	32.5
	Mois	10.1	12.6	1.7	3.5	5.9	8.4	4.1	9.0	7.8	17.5	1.3	16.2	23.2	— 0.8	24.0
Mai	1-10	18.8	—	6.2	—	12.5	12.6	10.9	18.4	16.9	32.2	6.0	26.2	40.4	1.3	39.1
	11-20	16.3	—	5.9	—	11.1	10.4	9.3	15.1	12.7	29.2	5.3	23.9	38.1	1.9	36.2
	21-31	19.5	—	8.8	—	14.1	10.7	12.6	17.8	15.9	32.7	9.2	23.5	37.2	5.8	31.4
	Mois	18.2	18.3	7.0	7.2	12.6	11.2	11.0	17.2	15.2	31.4	6.8	24.6	38.6	3.1	35.5
Printemps		12.6	13.4	3.4	4.0	8.0	9.2	6.3	11.6	9.8	20.2	3.0	17.2	26.9	0.0	26.9
Semestre		7.8	9.6	— 0.4	1.8	3.7	8.2	2.5	6.5	5.0	11.7	— 0.5	12.2	15.6	— 2.9	18.5

Juin	1-10	17.1	—	8.8	—	12.9	8.3	11.7	16.0	13.5	26.6	9.6	17.0	35.3	6.8	21.5
	11-20	14.6	—	8.2	—	11.4	6.4	11.3	13.7	12.8	21.8	8.6	13.2	27.2	6.4	20.8
	21-30	16.7	—	9.0	—	12.8	7.7	11.7	16.0	15.1	26.2	9.3	16.9	31.2	5.4	25.8
	Mois	16.1	20.7	8.6	9.9	12.3	7.5	11.6	15.2	13.8	24.9	9.2	15.7	31.2	6.2	25.0
Juillet	1-10	22.7	—	13.3	—	18.0	9.4	16.3	20.5	18.6	32.6	13.6	19.0	39.0	11.6	27.4
	11-20	19.0	—	11.4	—	15.2	7.6	14.0	18.3	17.3	29.0	12.1	16.9	34.5	8.9	25.6
	21-31	21.6	—	11.8	—	16.7	9.8	15.0	19.9	18.1	31.1	11.9	19.2	37.2	9.2	28.0
	Mois	21.1	22.5	12.2	11.6	16.6	8.9	15.1	19.6	18.0	30.9	12.5	18.4	36.9	9.9	27.0
Août	1-10	18.9	—	9.9	—	14.4	9.0	13.5	18.4	15.8	28.8	10.3	18.5	37.5	6.8	30.7
	11-20	20.6	—	11.1	—	15.8	9.5	13.6	18.6	17.0	29.9	11.1	18.8	33.9	9.0	24.9
	21-31	17.0	—	8.6	—	12.8	8.4	10.8	15.6	13.4	24.9	8.8	16.1	29.9	5.4	24.5
	Mois	18.7	21.9	9.8	11.5	14.2	8.9	12.6	17.5	15.3	27.9	10.1	17.8	33.8	7.0	26.8
Eté		18.6	21.7	10.2	11.0	14.4	8.4	13.1	17.4	15.7	27.9	10.6	17.3	34.0	7.7	26.3
Sept.	1-10	18.4	—	9.9	—	14.1	8.5	12.4	17.7	15.9	24.3	10.3	14.0	31.9	8.6	23.3
	11-20	18.4	—	9.9	—	14.1	8.5	12.2	17.9	15.9	24.8	10.6	14.2	31.2	7.5	23.7
	21-30	21.7	—	11.3	—	16.5	10.4	13.8	20.6	16.9	27.7	11.5	16.2	29.3	8.0	21.3
	Mois	19.5	19.3	10.4	8.9	14.9	9.1	12.8	18.7	16.2	25.6	10.8	14.8	30.8	8.0	22.8
Octobre	1-10	14.0	—	7.2	—	10.6	6.8	8.9	11.8	10.4	18.8	4.8	14.0	21.4	5.2	16.2
	11-20	15.5	—	6.2	—	10.8	9.3	8.5	15.2	11.9	19.3	6.5	12.8	22.7	3.3	19.4
	21-31	10.9	—	4.8	—	7.8	6.1	6.6	9.3	7.3	14.0	4.6	9.4	17.8	2.8	15.0
	Mois	13.4	14.1	6.0	6.1	9.7	7.4	7.9	12.0	9.8	17.4	5.3	12.1	20.6	3.7	16.9
Nov.	1-10	9.4	—	2.4	—	5.9	7.0	5.0	9.3	7.5	10.2	1.4	8.8	12.9	— 0.1	13.0
	11-20	7.7	—	3.4	—	5.6	4.3	4.8	6.8	5.6	10.3	2.7	7.6	11.9	0.7	11.2
	21-30	4.5	—	— 2.1	—	1.2	6.6	— 0.2	2.6	1.4	4.7	— 2.7	7.4	6.4	— 5.1	11.5
	Mois	7.2	8.2	1.2	1.8	4.2	6.0	3.2	6.3	4.8	8.4	0.5	7.9	10.4	— 1.5	11.9
Automne		13.4	13.9	5.9	5.6	9.6	7.5	8.0	12.3	10.3	17.1	5.5	11.6	20.6	3.4	17.2
Semestre		16.0	17.8	8.0	8.3	12.0	8.0	10.5	14.8	13.0	22.5	8.0	14.5	27.3	5.5	21.8
Année		11.9	13.6	3.8	5.2	7.8	8.1	6.5	10.6	9.0	17.1	3.7	13.4	21.4	4.2	17.2

Mois et Saisons		TEMPERATURES DANS LE SOL OBSERVEES AUX TROIS HEURES G.M.T.																	
		A 5 cm			A 10 cm			A 20 cm			A 30 cm			A 50 cm			A 100 cm		
		7 H.	13 H.	18 H.	7 H.	13 H.	18 H.	7 H.	13 H.	18 H.	7 H.	13 H.	18 H.	7 H.	13 H.	18 H.	7 H.	13 H.	18 H.
Décembre 1955	1-10	3.4	6.4	4.9	3.6	6.1	4.9	3.5	5.7	4.8	4.8	5.0	5.3	5.7	5.8	5.8	7.6	7.5	7.6
	11-20	2.3	5.1	3.2	2.6	4.4	3.4	2.8	4.0	3.4	4.4	2.0	4.5	5.6	5.6	5.6	7.2	7.1	7.2
	21-31	3.9	6.2	5.2	3.8	5.6	5.0	3.6	5.1	4.8	4.4	4.6	4.8	5.2	5.2	5.0	6.0	6.7	6.6
	Mois	3.2	5.9	4.5	3.3	5.4	4.5	3.3	5.0	4.3	4.5	4.6	4.8	5.5	5.5	5.5	7.1	7.1	7.1
Janvier 1956	1-10	0.2	2.4	0.6	0.5	1.6	0.8	0.6	1.3	0.9	2.3	2.4	2.3	3.8	3.8	3.8	6.2	6.1	6.1
	11-20	2.2	5.3	2.8	2.2	4.5	2.8	2.2	3.9	2.7	2.6	2.9	3.0	3.5	3.3	3.4	5.0	4.9	5.0
	21-31	2.8	4.7	3.3	2.9	4.4	3.5	2.9	4.0	3.7	3.6	3.7	4.3	4.2	4.1	4.2	5.3	5.2	5.1
	Mois	1.8	4.2	2.3	1.9	3.5	2.4	1.9	3.1	2.5	2.9	3.0	3.2	3.8	3.8	3.8	5.5	5.4	5.4
Février	1-10	—4.4	—1.5	—3.5	—3.6	—1.5	—2.7	— 3.4	—1.6	— 2.6	0.3	0.3	0.1	2.3	2.3	2.1	4.7	4.6	4.6
	11-20	—3.3	— 2.2	—2.7	—3.4	—1.9	—2.4	—3.0	—1.7	—2.3	—0.8	—0.7	—0.7	1.0	1.1	1.0	3.5	3.5	3.5
	21-28	—4.5	—2.6	—2.4	—3.9	— 2.2	—2.2	—3.6	—2.1	—1.8	—1.7	—1.6	—1.3	0.1	0.5	0.1	2.7	2.7	2.7
	Mois	—4.0	—2.1	2.9	—3.6	—1.9	—2.4	— 3.3	—1.8	—2.3	— 0.7	— 0.6	—0.6	1.2	1.2	1.1	3.6	3.6	3.6
Hiver		0.3	2.7	1.3	0.5	2.3	1.5	0.6	2.1	1.5	2.2	2.3	2.4	3.5	3.5	3.4	5.4	5.3	5.3
Mars	1-10	2.5	7.2	2.9	2.2	6.6	2.5	2.1	5.9	2.7	0.6	1.4	1.1	0.3	0.3	0.3	2.2	2.2	2.2
	11-20	2.1	9.3	4.0	1.7	8.0	4.2	1.5	7.3	4.1	2.3	2.9	3.9	2.6	2.6	2.7	2.9	3.0	3.0
	21-31	6.9	15.6	15.8	6.4	14.5	9.6	6.1	14.1	9.5	7.3	8.2	9.0	7.0	6.2	6.2	5.4	5.5	5.6
	Mois	3.9	10.9	5.6	3.5	9.8	5.6	3.3	9.3	5.6	3.5	4.3	4.8	3.4	3.1	3.2	3.6	3.6	3.7
Avril	1-10	3.9	11.6	6.9	3.4	10.6	7.1	3.1	10.4	6.9	5.4	6.6	7.2	6.3	6.2	6.4	6.4	6.4	6.4
	11-20	6.6	12.6	9.1	6.3	12.3	9.5	6.0	12.0	9.3	7.8	8.4	9.2	7.9	7.8	7.8	7.1	7.2	7.2
	21-30	7.3	16.8	9.9	6.6	16.0	10.0	6.2	15.9	10.6	8.2	9.2	10.0	8.2	8.2	8.3	7.6	7.7	7.7
	Mois	5.9	13.7	8.6	5.4	13.0	8.8	5.1	12.8	8.9	7.1	8.1	8.8	7.5	7.4	7.2	7.1	7.1	7.1
Mai	1-10	13.7	25.8	18.0	12.6	24.9	18.8	11.8	27.0	18.7	12.6	14.4	15.7	11.9	11.7	11.8	9.2	9.3	9.3
	11-20	12.8	22.6	16.1	12.4	22.4	16.5	11.5	22.1	16.1	13.3	15.4	15.5	13.6	13.3	13.4	11.2	11.3	11.3
	21-31	15.2	27.2	18.1	14.7	24.3	18.7	14.2	26.1	18.3	15.7	16.9	18.4	15.2	14.9	15.0	12.5	12.6	12.7
	Mois	13.9	25.3	17.4	13.3	23.9	18.0	12.6	25.1	17.7	13.9	15.6	16.6	13.6	13.3	13.4	11.0	11.1	11.1
Printemps		7.9	16.6	10.5	7.4	15.6	10.8	7.0	15.7	10.7	8.2	9.3	10.1	8.2	7.9	7.9	7.2	7.3	7.3
Semestre		4.1	9.6	5.9	3.9	8.9	6.1	3.8	8.9	6.1	5.2	5.8	6.2	5.8	5.7	5.6	6.3	6.3	6.3

Juin	1-10	13.8	20.0	15.7	13.5	20.1	16.1	13.2	20.0	15.8	14.7	15.7	16.6	15.1	15.0	14.7	13.6	13.6	13.6
	11-20	12.9	16.5	14.8	12.5	16.5	14.9	12.3	16.5	14.6	12.9	13.8	14.5	13.4	13.3	13.3	12.9	12.9	12.8
	21-30	13.8	21.0	18.3	13.5	20.5	18.4	13.1	20.5	18.2	13.9	15.0	16.1	14.1	13.9	14.1	12.8	12.9	12.8
	Mois	13.5	19.2	16.2	13.1	19.0	16.5	12.9	19.0	16.1	13.8	14.8	15.7	14.2	14.0	14.0	13.1	13.1	13.1
Juillet	1-10	17.7	23.2	20.5	17.3	22.8	20.6	16.8	23.0	20.3	17.6	18.6	19.4	16.6	16.5	16.6	14.0	14.2	14.2
	11-20	15.5	22.8	19.4	15.5	22.4	19.5	15.2	22.3	19.3	16.7	17.5	18.7	16.9	16.7	16.7	16.2	16.2	16.2
	21-31	16.7	25.2	20.5	16.5	24.1	20.6	16.9	23.9	20.4	17.5	18.5	19.2	17.6	17.4	17.4	15.6	15.6	15.6
	Mois	16.7	23.8	20.1	16.4	23.1	20.2	16.3	23.1	20.0	17.2	18.2	19.1	17.0	16.9	16.9	15.3	15.3	15.4
Août	1-10	15.2	23.5	17.1	14.9	22.8	17.5	14.1	22.7	17.5	15.5	16.8	18.2	16.4	16.2	16.3	15.4	15.4	15.4
	11-20	15.2	22.7	17.8	15.0	22.2	17.6	14.5	22.1	17.8	16.4	17.3	18.2	17.0	16.8	16.8	15.7	15.7	15.7
	21-31	12.1	19.5	14.9	12.6	19.3	15.2	11.5	19.1	14.9	14.3	15.1	15.9	15.3	15.4	15.2	15.2	15.1	15.1
	Mois	14.1	21.8	16.6	14.1	21.3	16.7	13.3	21.2	16.7	15.4	16.3	17.4	16.2	16.1	16.0	15.4	15.4	15.4
Eté		14.8	21.6	17.6	14.5	21.1	17.8	14.2	21.1	17.6	15.5	16.4	17.4	15.8	15.7	15.6	14.6	14.6	14.6
Sept.	1-10	12.9	20.0	15.7	12.8	19.6	16.0	12.4	19.4	15.5	14.2	15.2	16.0	14.7	14.8	14.7	14.3	14.4	14.4
	11-20	13.2	21.7	16.4	13.1	21.1	16.8	12.7	21.0	16.4	14.7	15.5	16.5	15.2	15.0	15.1	14.6	14.6	14.5
	21-30	14.5	23.6	16.9	14.2	23.1	16.8	13.9	22.8	16.8	15.9	16.7	17.6	16.1	16.0	15.9	14.9	15.0	15.0
	Mois	13.5	21.8	16.3	13.4	21.2	16.6	13.0	21.0	16.2	14.9	15.8	16.7	15.3	15.3	15.2	14.6	14.7	14.6
Octobre	1-10	10.2	14.2	10.9	10.2	14.2	11.2	9.9	13.8	10.7	12.0	12.5	12.7	13.4	13.2	13.2	14.2	14.1	14.0
	11-20	9.2	17.4	11.5	9.1	16.7	11.8	8.7	16.6	11.3	11.1	11.8	12.5	12.0	12.0	12.2	12.5	12.6	12.6
	21-31	7.1	11.1	7.7	7.0	10.8	7.7	6.7	10.5	7.6	9.3	9.4	9.1	10.8	10.6	10.5	12.0	12.0	11.9
	Mois	8.8	14.1	9.9	8.7	13.8	10.2	8.4	13.5	9.8	10.8	11.2	11.4	12.0	11.9	11.9	12.9	12.9	12.8
Nov.	1-10	5.0	10.0	6.9	4.8	9.6	6.8	4.5	9.0	6.5	6.4	7.1	7.3	8.0	8.0	7.9	9.8	9.8	9.8
	11-20	5.3	8.3	6.1	5.1	8 2	6.2	4.9	7.9	5.8	6.9	7.0	7.1	8.1	8.0	7.9	9.3	9.3	9.3
	21-30	0.6	3.4	1.4	0.4	3.1	1.3	0.3	2.7	1.9	2.7	2.7	2.7	5.0	4.9	4.8	7.6	7.6	7.6
	Mois	3.6	7.2	4.8	3.4	7.0	4.8	3.2	6.5	4.5	5.3	5.6	5.7	7.0	6.9	6.9	8.9	8.9	8.9
Automne		8.6	14.4	10.3	8.5	14.0	10.5	8.2	13.7	10.2	10.3	10.9	11.3	11.4	11.4	11.3	12.1	12.2	12.1
Semestre		11.7	18.0	13.9	11.5	17.5	14.1	11.2	17.4	13.9	12.9	13.6	14.3	13.6	13.5	13.4	13.3	13.4	13.3
Année		7.9	13.8	9.9	7.7	13.2	10.1	7.5	13.1	10.0	9.0	9.7	10.2	9.7	9.6	9.5	9.8	9.8	9.8

DESIGNATIONS	Déc.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.
Précipitations												
Maximum absolu de l'année . .	13.5	13.0	7.8	18.7	9.0	23.0	18.8	15.6	23.9	12.8	20.0	13.3
Hauteur d'eau recueillie	78.3	91.4	23.3	52.4	42.6	76.7	75.1	90.2	104.1	54.4	134.4	56.1
Hauteur moyenne normale . . .	80.0	64.0	51.0	55.0	61.0	63.0	67.0	81.0	77.0	66.0	78.0	71.0
Jours de précipitations normaux .	18.8	17.0	14.6	15.6	14.9	13.8	13.7	15.0	15.3	14.0	16.7	16.7
Jours de précipitations observés .	24	22	10	12	11	11	20	21	16	18	22	20
Jours de neige	1	8	8	2	5	0	0	0	0	0	2	3
Températures (sous-abri)												
Moyenne mensuelle la plus élevée des maxima	8.7 en 1954	8.5 en 1947	8.6 en 1950	13.5 en 1948	17.1 en 1949	21.1 en 1948	23.7 en 1947	24.8 en 1947	26.6 en 1947	24.0 en 1947	17.1 en 1949	10.9 en 1947
Moyenne mensuelle la plus basse des minima	— 5.5 en 1890	— 5.4 en 1947	—13.6 en 1956	— 2.9 en 1945	1.7 en 1956	5.8 en 1955	8.6 en 1956	10.7 en 1950	9.8 en 1956	9.6 en 1912	3.0 en 1951	1.2 en 1956
Maximum absolu le plus élevé . Observé à Gembloux	17.0 en 1953	15.4 en 1948	19.2 en 1899	24.0 en 1892	28.5 en 1949	34.6 en 1922	38.1 en 1947	36.4 en 1921	36.8 en 1911	33.0 en 1947	27.2 en 1921	20.3 en 1927
Minimum absolu le plus bas . . Observé à Gembloux	— 21.5 en 1950	—22.2 en 1940	— 21.5 en 1956	—12.0 en 1955	— 6.8 en 1924	— 3.3 en 1942	0.0 en 1902	2.4 en 1921	2.8 en 1956	— 1.0 en 1907	— 6.0 en 1922	—16.0 en 1935
Jours de gelée observés	10	16	29	10	11	1	0	0	0	0	1	10
Jours d'Hiver en 1955-56 . . .	0	1	26	0	0	0	0	0	0	0	0	3
(sur sol gazonné)												
Maximum absolu le plus élevé .	12.5	12.5	2.0	31.0	38.0	46.0	45.4	50.4	44.0	42.0	32.0	18.5
Minimum absolu le plus bas . .	10.7	— 9.2	—19.5	—12.2	— 6.6	— 4.7	— 1.7	4.8	— 1.6	0.8	— 6.4	—12.9
Jours de gelée observés	17	23	29	20	18	9	1	0	1	0	7	18
Jours d'Hiver en 1955-56	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(sur sol nu)												
Maximum absolu le plus élevé .	12 5	10.2	1.7	22.2	28.3	40.0	34.0	43.5	39.3	34.7	28.3	15.6
Minimum absolu le plus bas . .	— 5.0	— 4.8	—18.0	— 4.8	— 4.4	— 2.0	5.4	9.2	4.6	6.3	— 1.0	— 7.4
Jours de gelée observés	14	20	29	14	9	1	0	0	0	0	1	13
Jours d'Hiver en 1955-56	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	1

ANNEE 1956

PHENOLOGIE — GEMBLOUX

DATES DE FLORAISONS	NOMS DES PLANTES
24-I et 22-III	Corylus avellana
20-III	Galanthus nivalis
20-III	Crocus aureus
26-III	Alnus glutinosa
26-III	Stellaria media
27-III	Tussilago farfara
26-III	Primula acaulis
27-III	Cornus mas
29-III	Salix caprea
30-III	Viola odorata
6-IV	Forsythia vulgaris
11-IV	Narcissus pseudo-narcissus
11-IV	Arabis alpina
13-IV	Ficaria ranunculoïdes
16-IV	Mahonia aquifolium
15-IV	Glechoma hederacea
23-IV	Veronica hederaefolia
26-IV	Saxifraga crassifolia
3-V	Lamium album
2-V	Magnolia denudata
5-V	Taraxacum Dens-Leonis
3-V	Capsella Bursa-Pastoris
7-V	Cerasus Japonica
7-V	Viburnum carlesi
9-V	Alyssum saxatile
9-V	Plantago lanceolata
9-V	Ranunculus arvensis
12-V	Aesculus Hippocastanum
13-V	Syringa vulgaris
13-V	Sorbus aucuparia
21-V	Rumex acetosella
22-V	Cerastium tomentosum
22-V	Cytisus laburnum
22-V	Medicago lupulina
25-V	Crataegus oxyacantha
26-V	Lupinus polyphyllus
5-VI	Viburnum lantana
7-VI	Matricaria chamomilla
7-VI	Convolvulus arvensis
20-VI	Lathyrus pratensis
26-VI	Rosa Mad. A. Meilland

DATES DE FLORAISONS	NOMS DES PLANTES
26-VI	Epilobium spicatum
18-VI	Corydalis lutea
12-VII	Convolvulus sepium
12-VII	Solidago Virga-aurea
23-VII	Senecio Jacobea
30-VII	Phlox paniculata
10-IX	Aster amellus

Feuillaisons

DATES DE FEUILLAISONS	NOMS DES PLANTES
13-IV	Ribes rubrum et Uva crispa
13-IV	Sambucus nigra
13-IV	Salix Babylonica
15-IV	Syringa vulgaris
16-IV	Aesculus Hippocastanum
16-IV	Corylus avellana
17-IV	Philadelphus
19-IV	Sorbus aucuparia
3-V	Cerasus Japonica
3-V	Populus canadensis
5-V	Populus pyramidalis
19-V	Fraxinus excelsior

Défeuillaisons

DATES DE DEFEUILLAISONS	NOMS DES PLANTES
29-X	Aesculus Hippocastanum
27-X	Corylus avellana
10-X	Ribes rubrum et Uva Crispa
31-X	Populus canadensis
1-XI	Gingko Biloba (feuilles gelées)
2-XI	Fraxinus excelsior (feuilles gelées)
2-XI	Juglans regia (feuilles gelées)
9-XI	Populus pyramidalis
9-XI	Alnus glutinosa
13-XI	Cerasus Japonica
15-XI	Tilia grandiflora
17-XI	Crataegus oxyacantha

Gelée tardive dans la nuit des 20-21 mai 1956, cultures atteintes : pommes de terre hâtives, haricots, les dégâts sont 4 à 5 (assez graves).

Encyclopédie Agronomique et Vétérinaire

MANUEL DE L'AMELIORATION DES PLANTES

par V. LATHOUWERS

Docteur ès Sciences. Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat à Gembloux.

Tome I : L'Amélioration générale — En réimpression

Tome II : L'Amélioration du Froment, 580 pp., 66 fig. — 150,00

LE CHENE PEDONCULE ET LE CHENE ROUVRE

Leur culture en Belgique

par A. POSKIN

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. 283 pp., 54 fig., 1 carte en couleurs, — br., 65,00

PHYTOTECHNIE DE L'HEVEA — (HEVEA BRASILIENSIS)

Botanique — Amélioration — Culture et Exploitation

par M. FERRAND

Ingénieur Agronome (A. I. Gx), Chef de la Division de l'Hevea de l'INEAC Directeur du Centre de Recherches de l'Inst. de Rech. pour les Huiles de Palme et Oléagineux de Paris.

1 vol. 432 pp., 67 fig., 2 hors-textes — 110,00

ELEMENTS DE MICROBIOLOGIE GENERALE ET AGRICOLE

par G. VERPLANCKE

Chargé de cours à l'Université de Gand et à l'Institut agronomique de Gand.

1 vol. in-8°, 328 pp., 105 fig. — Epuisé

LES BOVINS

par J. LAHAYE et J. MARCQ

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. — *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

Tome I : La Connaissance du Bétail, 1 vol. in-8°, 208 pp., 166 fig. — 130,00

Tome II : Vol. 1. Ethnographie. Hygiène. Reproduction. — En réimpr.

Vol. 2. Alimentation, 1 vol. in-8°, 644 pp., 20 fig. — En réimpr.

TRAITE DE PATHOLOGIE MEDICALE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

par F. LIEGEOIS

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. XXVI - 926 pp., 4e édition, 1955. — 560,00

LA FERTILISATION DU SOL ET LES ENGRAIS

par R. MEURICE

Docteur en Sciences,

Directeur de la Station de Chimie et de Physique Agricoles de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8° ill., 280 pp. — Epuisé

TRAITE D'ECONOMIE RURALE

par A. DELOS

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

Tome I : La Terre, 1 vol. in-8°, 280 pp., 25 fig., — br. 50,00

Tome II : Le Capital d'exploitation, 1 vol. in-8°, 372 pp., — Epuisé

PRECIS DE DROIT VETERINAIRE

par F. LIEGEOIS

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.

1 vol. in-8°, 332 pp., br. 60,00

TRAITE COMPLET D'AVICULTURE

par J. LAHAYE, J. MARCQ et E. CORDIEZ

Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem. — *Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, 660 pp., 219 fig., 9 hors-textes en quadrichromie, br. 375,00

LE CHEVAL

par J. MARCQ et J. LAHAYE

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux. — *Professeur à l'Ecole de médecine vétérinaire, à Cureghem.*

Tome I : Extérieur du Cheval, 304 pp., 193 fig. br. 175,00

Tome II : Zootechnie spéciale. Alimentation. Hygiène. Amélioration. br. 425,00

LA CANNE A SUCRE AUX ANTILLES FRANÇAISES

par J. GUILLAUME

Ingénieur, Chef de Fabrication aux Antilles.

1 vol. in-8°, IX-215 pp., fig. br. 56,00

ELEMENTS DE PATHOLOGIE VEGETALE

appliquée à la Phytotechnie

par Em. MARCHAL

Professeur émérite à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

P. MANIL et R. VANDERWALLE

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux. — *Chargé de cours à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.*

1 vol. in-8°, XXIV-540 pp., 205 fig. br. 290,00

ELEMENTS DE PHYSIOLOGIE VEGETALE

Les bases scientifiques de la Phytotechnie

par Em. MARCHAL

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, XVI - 344 pp., 131 fig. br. 225,00

TRAITE DE SYLVICULTURE

par A. POSKIN

Professeur à l'Institut agronomique de l'Etat, à Gembloux.

1 vol. in-8°, 532 pp., 166 fig. br. 260,00

A TRAVERS LES FORETS DE PINSAPO D'ANDALOUSIE

Etude de Dendrologie, de Sylviculture et d'Entomologie forestière.

par A. BARBEY

Expert forestier, Docteur ès-Sciences.

1 vol. in-8°, 110 pp., 41 pl., br. 40,00